

RAPPORT

Haalbaarheid derde windturbine deponie Sortiva te Alkmaar

Geotechnisch interpretatierapport

Klant: Sortiva B.V.

Referentie: BI1738-RHD-WM-RM-RP-GT-0001

Status: Definitief/2.0

Datum: 06/10/2022

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Water & Maritime
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Haalbaarheid derde windturbine deponie Sortiva te Alkmaar

Sub titel: Geotechnisch interpretatierapport
Referentie: BI1738-RHD-WM-RM-RP-GT-0001
Status: 2.0/Definitief
Datum: 06/10/2022
Projectnaam: Windturbine Sortiva
Projectnummer: BI1738
Auteur(s): Jurgen Cools

Opgesteld door: Jurgen Cools

Gecontroleerd door: Gijs Kaptein

Datum: 05/10/2022

Goedgekeurd door: Felix de Haas

Datum: 06/10/2022

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Projectomschrijving	2
3	Algemene Terrein- en Bodemcondities	4
3.1	Terreinhoogte	4
3.2	Historie en opbouw deponie	4
3.3	Percolaat	5
4	Uitgevoerd Grondonderzoek	6
4.1	Methoden en normen	6
4.2	Boringen	6
4.3	Sonderingen	6
4.4	Geofysisch onderzoek	6
5	Interpretatie van de Onderzoeksresultaten	7
5.1	Terreinhoogte	7
5.2	Opbouw van de deponie	7
5.3	Geotechnische materiaaleigenschappen	7
5.3.1	Seismische snelheid	7
5.3.2	Volumieke dichtheid	9
5.3.3	Stijfheidseigenschappen	9
5.3.4	Schuifsterkte	10
5.4	Grondwaterstand	11
6	Geotechnische Risico's	12
7	Referenties	14

Tabellen

Tabel 5-1: laagopbouw stort	7
Tabel 5-2: typische waarden voor S-golf voortplantingssnelheden [REF10]	8
Tabel 5-3: correlaties voor afleiden stijfheidseigenschappen	9
Tabel 5-4: karakteristieke waarden voor de stijfheidseigenschappen	10
Tabel 5-5: correlaties voor afleiden sterkte-eigenschappen	10
Tabel 6-1: geotechnische risico's	12

Figuren

Figuur 2-1: bovenaanzicht deponie met beoogde positie van de derde windturbine [REF5]	2
Figuur 2-2: vogelvlucht weergave van het Sortivaterrein vanuit het zuiden met daarop devoorgenomen locatie van de derde windturbine gevisualiseerd [REF5]	3
Figuur 2-3: zijaanzicht weergave van het Sortiva-terrein vanuit het westen met daarop de voorgenomen locatie van de derde windturbine gevisualiseerd [REF5]	3
Figuur 3-1: maatvoering deponie (bron Sortiva, bestand 'Deponie na 2030 met stortvakken nieuwe versie 2013.png')	4
Figuur 3-2: indicatie historische opbouw deponie stortvak 7	5
Figuur 5-1: gemeten waarden van Vs in vergelijking met de resultaten van een statische analyse van Vs voor wereldwijde vuilstorten uit [REF9]	8
Figuur 5-2: verhouding tussen schuifrek en de verhouding G/Gmax [REF8]	10

Bijlagen

1. Resultaten boor- en sondeonderzoek
2. Resultaten seismisch onderzoek
3. Laagopbouw stort
4. Afleiding schuifsterkte

1 Inleiding

Aanleiding

Sortiva B.V. (Sortiva) heeft het voornemen om op de deponie gelegen aan de Boekelerdijk 13 te Alkmaar een windturbine te plaatsen. Of de windturbine geplaatst kan worden op de deponie hangt onder meer af van de haalbaarheid om een constructief en geotechnisch veilige fundatie te realiseren. Voor de fundering kan geen gebruik gemaakt worden van een paalfundatie, in verband met een onderafdichting onder de deponie; de onderafdichting mag niet doorboord worden door palen. Het voornemen is om een fundering op staal toe te passen, bestaande uit een ronde betonnen plaat, al dan niet met een vijzelconstructie om zakking en scheefstand te compenseren. Bij een dergelijke fundering wordt de haalbaarheid vooral bepaald door de sterkte en stijfheid van het stortmateriaal.

Vraagstelling

Sortiva heeft Royal HaskoningDHV gevraagd om de haalbaarheid van een fundering op staal te onderzoeken. Onderdeel van deze opdracht betreft het uitvoeren van een geotechnische onderzoek en het afleiden van de geotechnische eigenschappen van het stortmateriaal. Het onderzoek is uitgevoerd in week 29 van 2022 door Fugro NL Land B.V (Fugro) en Ground Research B.V. (Ground Research).

Doelstelling

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het geotechnisch onderzoek en worden de opbouw van het stort(-lichaam)en de materiaaleigenschappen van het stortmateriaal afgeleid, ten behoeve van het funderingsontwerp. Het funderingsontwerp is afzonderlijk beschouwd in [REF8].

2 Projectomschrijving

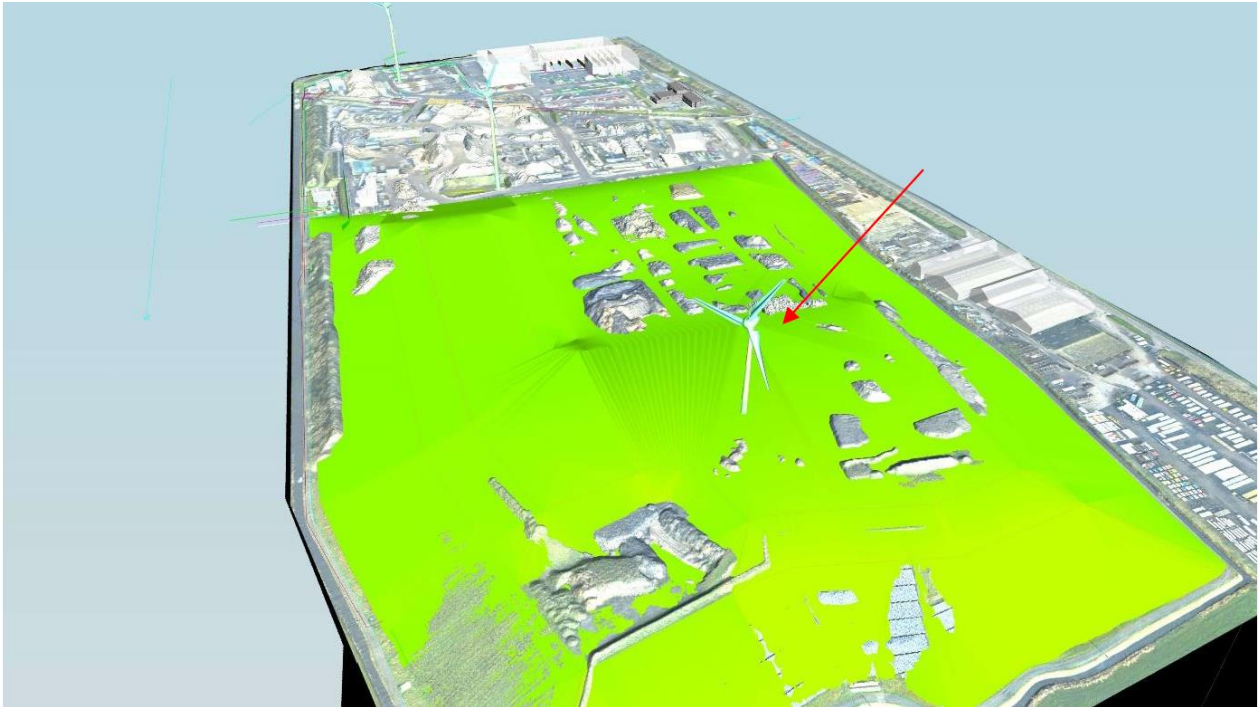
Sortiva is een bedrijf dat verschillende soorten afvalstoffen beheert voor maximale hoogwaardige nuttige toepassing. Ook beschikt Sortiva over een deponie, voor de verwerking van niet nuttig toe te passen en niet brandbare afvalstoffen.

In Afbeeldingen 2-1, Afbeelding 2-2 en Afbeelding 2-3 is de voorgenomen locatie van de derde windturbine weergegeven. De windturbine is voorzien ter plaatse van het stortcompartiment 7, nabij de overgang met stortcompartiment 8. De coördinaten in het hart van de fundering zijn $x=112.193,0$ en $y=512.566,1$.

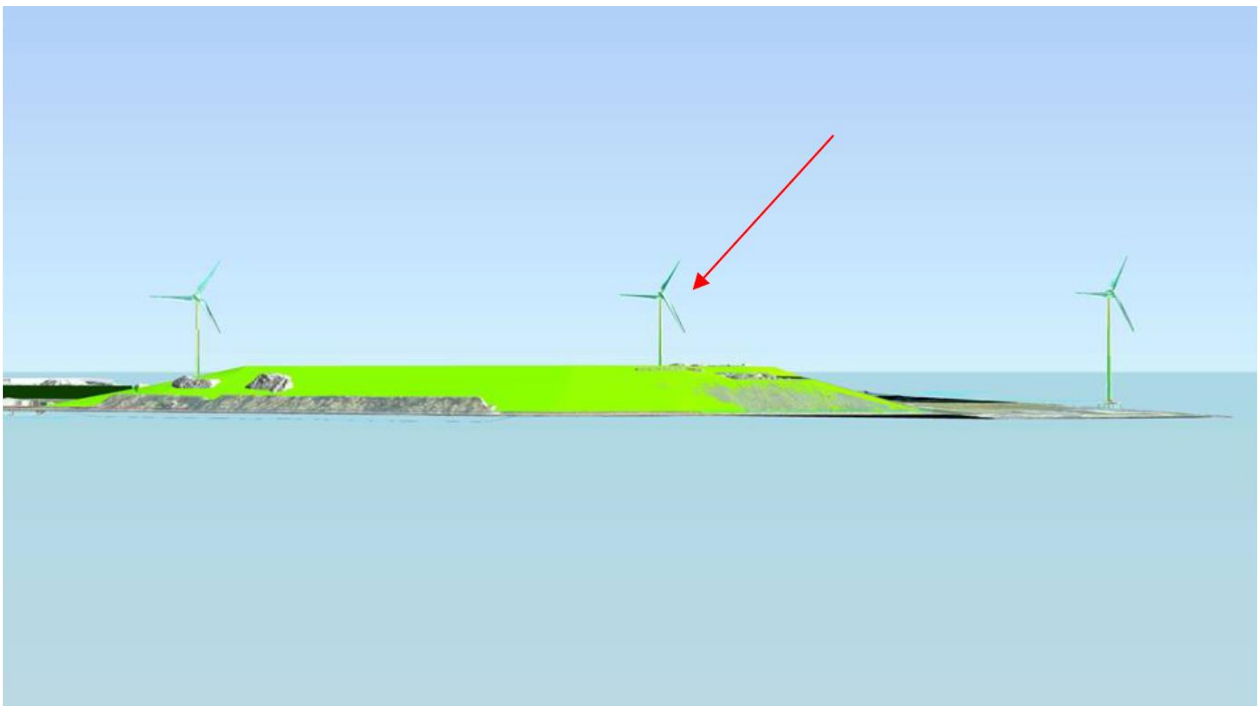
De fundering van de derde windturbine is hoger geplaatst dan de bestaande twee windturbines, die naast de deponie zijn gefundeerd. Om aan het uitgangspunt van een lijnopstelling te kunnen voldoen, wordt de derde windturbine uitgevoerd met een kortere mastlengte. Alle windturbines hebben dan ook een gelijke ashoogte.



Figuur 2-1: bovenaanzicht deponie met beoogde positie van de derde windturbine [REF5]



Figuur 2-2: Vogelvlucht weergave van het Sortiva-terrein vanuit het zuiden met daarop de voorgenomen locatie van de derde windturbine gevisualiseerd [REF5]



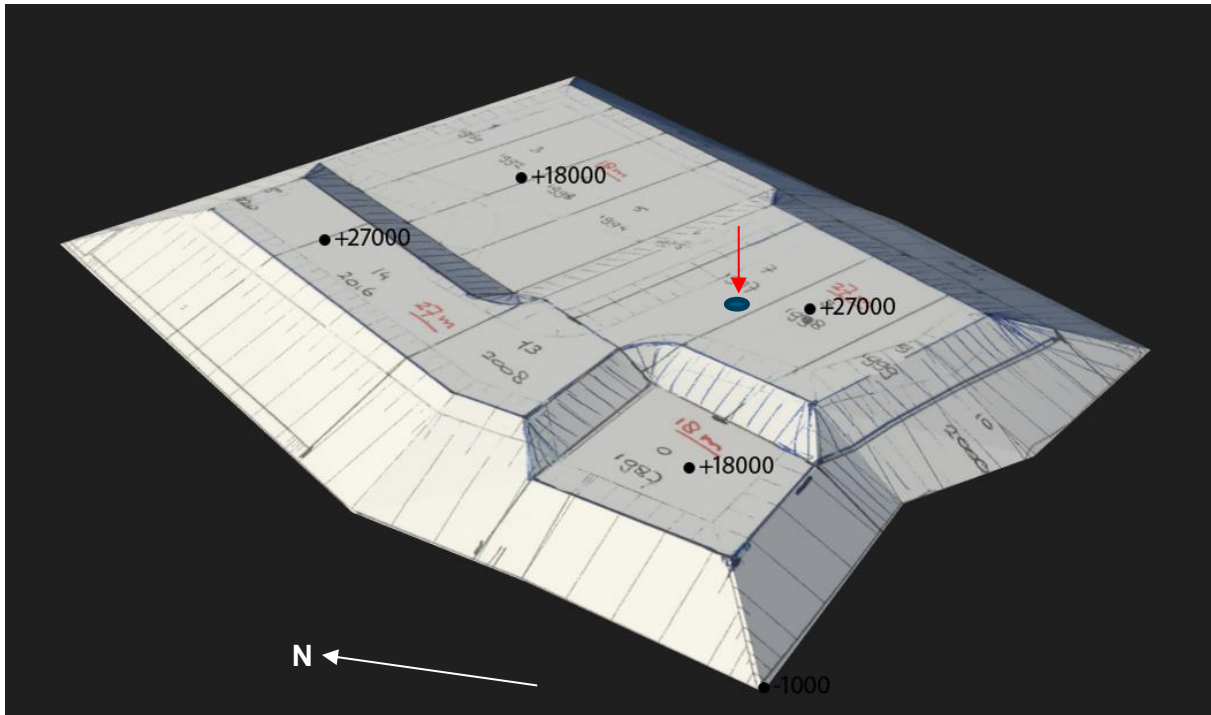
Figuur 2-3: Zijaanzicht weergave van het Sortiva-terrein vanuit het westen met daarop de voorgenomen locatie van de derde windturbine gevisualiseerd [REF5]

Tijdens het uitvoeren van deze studie is nog niet bekend welk type windturbine geïnstalleerd gaat worden. De naastgelegen windturbines zijn van het type Enercon E-70 E4 84. Voor deze opdracht wordt dan ook van hetzelfde type uitgegaan.

3 Algemene Terrein- en Bodemcondities

3.1 Terreinhoogte

De derde windturbine is voorzien op het hoogste deel van de deponie, met de bovenzijde van de deklaag op NAP +27,0 m, zie Figuur 3-1. Aan de zuidwestelijke zijde is op ongeveer 50 m afstand uit het hart van de windturbine een talud met helling 1:3 gelegen.



Figuur 3-1: maatvoering deponie (bron Sortiva, bestand 'Deponie na 2030 met stortvakken nieuwe versie 2013.png')

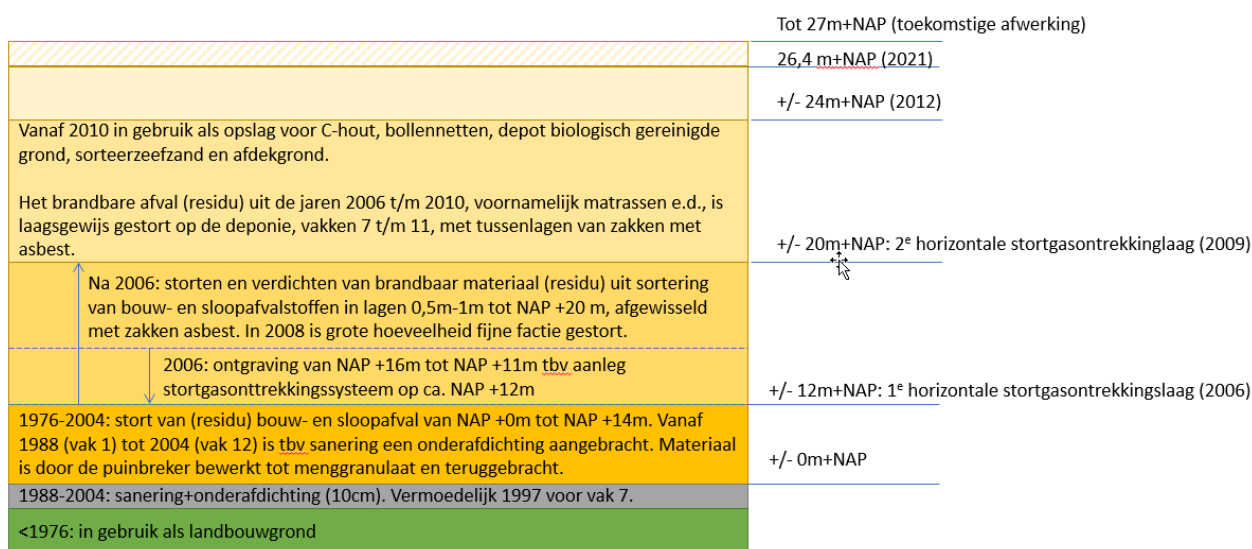
3.2 Historie en opbouw deponie

Het betreffende deel van de deponie, waarop de derde windturbine is geprojecteerd, is sinds 1976 in eigendom van Sortiva. De geschiedenis van stortvak 7 is op basis van [REF5] als volgt:

- Tot ongeveer 1976 was het terrein in gebruik als landbouwgrond.
- Vanaf 1976 is (residu) bouw- en sloopaafval gestort.
- Gedurende de periode van 1988 tot 2004 is in het kader van de sanering van het oorspronkelijke stortlichaam een afdichting aangebracht onder de stortvakken 0 (1988) tot en met stortvak 12 (2004). De afdichting onder stortvak 7 is in 1997 aangebracht. Op de onderafdichting is eerder gestort materiaal teruggebracht, nadat vrijkomende nuttig toe te passen afvalstoffen zijn gesorteerd en opgewerkt.
- In 2005 is de deponie ter plaatse van stortvak 7 (stortvakken 6 tot en met 9) verhoogd van NAP +14 m naar NAP +27 m.
- Begin 2006 is een start gemaakt met het aanbrengen van het stortgasonttrekkingssysteem. Dit horizontale onttrekkingssysteem is aangelegd op een hoogte van ongeveer NAP +12 m; het was noodzakelijk om het stortlichaam van NAP +16 m tot NAP +11 m (5 m) geheel over de deponie om te zetten.

- Na 2006 werd voornamelijk residu uit sortering van bouw- en sloopafvalstoffen gestort, vanwege vollast bij afvalverbranders. Het brandbare materiaal (residu) is in lagen van 0,5 tot 1 m gestort en verdicht ter plaatse van de stortvakken 7 tot en met 11. Tussen de stortlagen zijn zakken asbest gestort tot ongeveer NAP +20 m.
- In 2008 is een grote hoeveelheid fijne fractie van residu afkomstig uit stortvak 13 gedeponeed op onder andere stortvak 7.
- Begin 2009 is een tweede laag van het stortgasonttrekkingssysteem aangelegd; het stortmateriaal van NAP +19 m tot NAP +22 m is wederom omgezet. Tussen de onttrekkingsleidingen is gedeeltelijk brandbaar en niet-brandbaar (asbest) afval gestort.
- Vanaf 2010 is stortvak 7 in gebruik als opslag voor C-hout, bollennetten, biologisch gereinigde grond, sorteerzeefzand en afdekgrond.
- In 2012 bedroeg de hoogte van stortvak 7 NAP +24 m.
- De huidige hoogte van stortvak 7 bedraagt ongeveer NAP +26,4 m en zal in de toekomst worden afgewerkt op NAP +27,0 m.

De opbouw is samengevat in Figuur 3-2.



Figuur 3-2: Indicatie historische opbouw deponie stortvak 7

3.3 Percolaat

De stortvakken 7 en 8 zijn voorzien van een vacuümpompsysteem. De stortvakken worden op de diepst liggende gedeelten bemalen, daar waar percolaat door zettingen van de onderafdichting permanent blijft staan. Voorzien is dat in het kader van duurzaam storten in de toekomst aparte debietmeters en een monitoringsputten worden aangebracht [REF7].

4 Uitgevoerd Grondonderzoek

4.1 Methoden en normen

- Sonderingen zijn uitgevoerd volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1 met toepassingsklasse 2.
- Boringen zijn uitgevoerd volgens de norm NEN-EN-ISO 22475-1.
- Boorbeschrijven verricht op basis van de norm NEN-EN-ISO 14688-1.

4.2 Boringen

Het booronderzoek heeft bestaan uit:

- eenmaal sonisch boren (B01/B02), ten behoeve van een bodembeschrijving tot circa mv -22 m en seismisch onderzoek (Vertical Seismic Profiling);
- eenmaal sonisch boren tot circa mv -22 m, (B03), ten behoeve van seismisch onderzoek.

Bij de sonische boringen is het opgeboorde stortmateriaal bekeken en zoveel mogelijk geïdentificeerd door de boormeester. Voor het seismologisch onderzoek zijn in de boorgaten B01/B02 en B03 PVC-buizen geplaatst en omliggend stortlichaam geïnjecteerd met solutie van bentoniet en klei.

De boorbeschrijving is opgenomen in Bijlage 1.

4.3 Sonderingen

Het sondeeronderzoek heeft bestaan uit:

- vijfmaal sonderen met kleefmeting tot ca. mv -25 m.

Om op diepte te komen, zijn de sonderingen voorgeboord met inzet van de sonische boorstelling van GroundResearch. Tijdens het boren is een hulpbuis geplaatst, waardoor is gesondeerd. Na het uitvoeren van de sonderingen is de hulpbuis verwijderd en zijn de boorgaten afgedicht met zwelklei.

Ondanks het voorboren zijn op alle locaties meerdere pogingen nodig geweest om op de gewenste onderzoeksdiepte te komen. Het sonderen en voorboren werd gehinderd door de vele obstakels in het stortlichaam

De sondeergrafieken zijn weergegeven in Bijlage 1.

4.4 Geofysisch onderzoek

Fugro heeft op 27 en 28 juli 2022 seismische metingen uitgevoerd in de twee boorgaten (B01/B02 en B03). De metingen zijn uitgevoerd met behulp van een Geometrics Geode-acquisitie systeem. Op basis van de P- en S-golfenergie is per boring een verticaal snelheidsprofiel afgeleid. De resultaten zijn gerapporteerd in Bijlage 2.

5 Interpretatie van de Onderzoeksresultaten

5.1 Terreinhoogte

De terreinhoogte is ter plaatse van de boringen en sonderingen bepaald op NAP +26,3 tot +26,6 m, gemiddeld NAP +26,4 m.

5.2 Opbouw van de deponie

Op basis van de historische opbouw (paragraaf 3.2) en de resultaten van het boor- en sondeeronderzoek is de laagopbouw van het stortlichaam afgeleid. De opbouw is weergegeven in Bijlage 3.

De laagdikte, samenstelling en relatieve dichtheid varieert binnen het onderzoeksgebied. In Tabel 5-1 is de laagopbouw aangegeven voor de boringen B01/B02 en B03.

Tabel 5-1: laagopbouw stort

Laag N°	Omschrijving	B01/B02			B03		
		Bovenkant laag		Dikte	Bovenkant laag		Dikte
		[m]	[m NAP]	[m]	[m]	[m NAP]	[m]
1	Afdekgrond	0,0	+26,4	2,8	0,0	+26,3	2,2
2	Hout, bollennetten, depot biologische gereinigde grond en sorteersand	2,8	+23,6	3,3	2,2	+24,1	1,7
3	Residu, afgewisseld met zakken asbest	6,0	+20,4	6,9	3,9	+22,4	1,8
4	Menggranulaat, los	13,0	+13,4	5,6	12,7	+13,6	4,9
5	Menggranulaat, matig vast	18,5	+7,9	2,0	17,6	+5,7	2,0

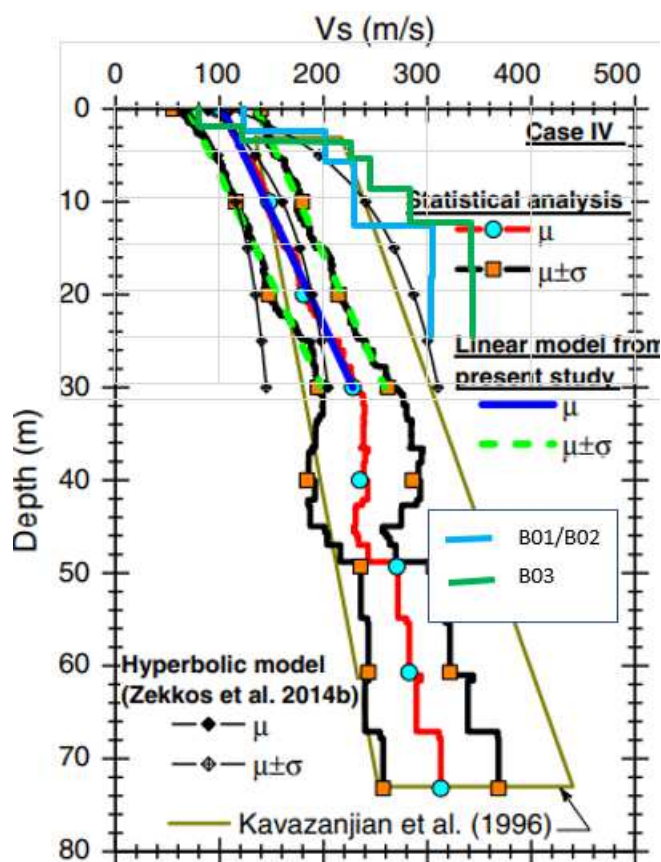
5.3 Geotechnische materiaaleigenschappen

De geotechnische materiaaleigenschappen voor het stortmateriaal zijn afgeleid aan de hand van de gemeten conusweerstand en de gemeten seismische golfsnelheden (V_p en V_s). Op basis van correlaties en literatuuronderzoek zijn waarden voor verschillende materiaalparameters afgeleid.

5.3.1 Seismische snelheid

De door Fugro gemeten seismische snelheden tonen relatief hoge waarden voor zowel de P- als S-golven. De waarden zijn vergeleken met algemene waarden voor stortmateriaal uit literatuur ([REF10]) op basis van metingen bij meer dan 100 locaties wereldwijd. De gemeten waarden voor de S-golf zijn tegen de diepte uitgezet in Figuur 5-1. Uit de figuur blijkt dat de waarden relatief hoog zijn, hetgeen duidt op vast gepakt stortmateriaal met een hoge relatieve dichtheid.

In vergelijking met grond worden dergelijke waarden gemeten in matig vaste tot zeer stijve gronden, zie Tabel 5-2. Uitzondering hierop vormt de afdeklaag met waarden rondom de 100 m/s, die passen bij een slappe grond.



Figuur 5-1: gemeten waarden van V_s in vergelijking met de resultaten van een statische analyse van V_s voor wereldwijde vuilstorten uit [REF10]

Tabel 5-2: typische waarden voor S-golf voortplantingssnelheden [REF11]

Material	Shear wave velocity V_s m/s
Very soft soil	85-105
Soft soil	106-135
Medium soil	136-185
Stiff soil	186-275
Very stiff soil	276-365
Soft rock/cemented soil	366-760
Rock	761-1500
Hard rock	>1500
Concrete	2286-2438

5.3.2 Volumieke dichtheid

Voor de volumieke dichtheid wordt een conservatief lage waarden aangehouden van 12 kN/m³. Een lage waarde resulteert in conservatief lage waarden van de stijfheid en dus een veilige inschatting van de vervormingen bij belasting.

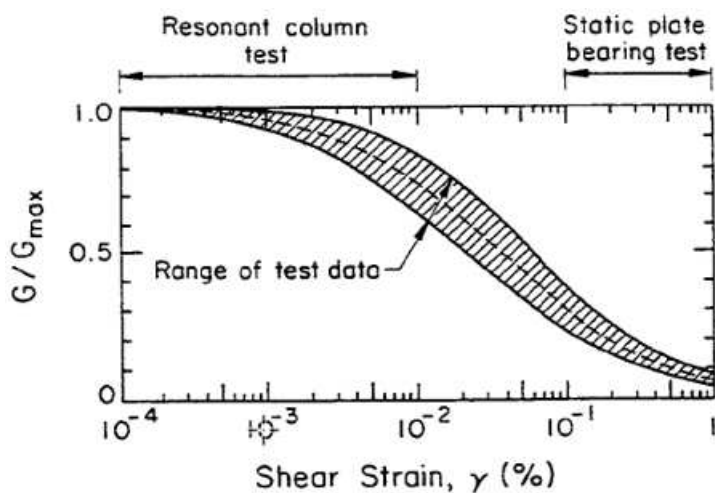
5.3.3 Stijfheidseigenschappen

Voor het afleiden van de stijfheidseigenschappen zijn de correlaties uit Tabel 5-3 gehanteerd.

Tabel 5-3: correlaties voor afleiden stijfheidseigenschappen

Parameter	Symbol	Eenheid	Correlatie
Poisson's ratio	ν	[-]	$\nu_u = \frac{0.5 V_p^2 - V_s^2}{V_p^2 - V_s^2}$
Porositeit	n	[-]	$n = -0.175 \ln(V_p) + 1.56$
Verzadigingsgraad	S_r	[-]	$S_r = 2 \cdot \nu$
Samendrukbaarheids-coëfficiënt	m_v	[m ² /kN]	$m_1^s = \frac{3(1-2\nu)}{2(1+\nu)[(1-n)\rho_s + S_r n \rho_w] V_s^2}$ en $m_v = 1/M$
Initiële schuifmodulus	$G_{\max}$	[kPa]	$G_{\max} = \rho \cdot V_s^2$
Dynamische Young modulus	E_{dyn}	[kPa]	$E_{\text{dyn}} = 2 \cdot G_{\max} \cdot (1 + \nu)$
Statische Youngs modulus	E_{stat}	[kPa]	$E_{\text{stat}} = 0,1 \cdot E_{\text{dyn}}$
Samendrukkings-modulus	M	[kPa]	$M = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$

De waarden voor $G_{\max}$ en E_{dyn} zijn van toepassing op kleine elastische rekken in de orde van 0,001%, terwijl bij een fundering op staal doorgaans een rek van 0,1 à 0,01% optreedt. De elasticiteit neemt af bij toenemende rekken. Op basis van empirische relaties tussen $G/G_{\max}$ en de schuifrek (Figuur 5-2) is een verhouding van 10 aangehouden voor het afleiden van G en E_{stat} .



Figuur 5-2: verhouding tussen schuifrek en de verhouding G/G_{max} [REF9]

De afgeleide waarden zijn samengevat in Tabel 5-4.

Tabel 5-4: karakteristieke waarden voor de stijfheidseigenschappen

		Vs	Vp	Poisson's ratio	Porositeit	$G_{0,dyn}$	$E_{0,dyn}$	E_{stat}
Nr.	Omschrijving	[m/s]	[m/s]	ν [-]	n [-]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
1	Afdegrond	80-120	190-260	0,30-0,41	0,60	13	33-36	3-4
2	Hout, bollennetten, depot biologische gereinigde grond en sorteerzand	120-200	270-360	0,41-0,42	0,55	13-24	36-68	4-7
3	Residu, afgewisseld met zakken asbest	230-280	400-515	0,35-0,44	0,50	33-60	93-162	9-16
4	Menggranulaat, los	310-340	560-650	0,33-0,42	0,45	73-92	206-255	21-26
5	Menggranulaat, matig vast	300-340	580-660	0,35-0,42	0,45	71-97	203-260	20-26

5.3.4 Schuifsterkte

Om inzicht te krijgen in het inschatten van de schuifsterkte zijn correlaties met de gemeten conusweerstand gebruikt, die normaal geldig zijn voor cohesieloze gronden (zand), zie Tabel 5-5.

Tabel 5-5: correlaties voor afleiden sterkte-eigenschappen

Parameter	Symbol	Eenheid	Correlatie	Bron
Hoek van inwendige wrijving	ϕ'	[°]	$\tan \phi' = \frac{1}{2.68} \left[\log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{vo}} \right) + 0.29 \right]$	Roberston and Campanella (1983)
			$\phi = 17.6 + 11 * \log(Q_{tn})$	Kulhaway and Mayne (1990)

Het verloop van de afgeleide hoek van inwendige wrijving met de diepte is weergegeven in de figuren in Bijlage 4, voor twee maatgevende sonderingen (lage conusweerstand).

Op basis van de correlaties worden voor de wrijvingshoek waarden verwacht tussen de 30° en 40°. Daarnaast is bekend dat het materiaal minimaal een hoek van inwendige wrijving heeft van 18° vanwege het aanwezige stabiele talud met een helling 1:3.

Voor de geotechnische analyses wordt geadviseerd uit te gaan van een conservatief lage waarde van 25°.

5.4 Grondwaterstand

In boring B01/B02 is vanaf 13 m diepte water in het stortlichaam waargenomen. Deze meting is eenmalig en kan slechts als indicatief worden beschouwd. Voor de geotechnische analyse wordt geadviseerd voorlopig van deze waarde uit te gaan.

Opgemerkt wordt dat naast drains voor het afvoeren van percolaat onder vrijval een vacuümpompsysteem aanwezig is, voor het onttrekken van percolaat. Mogelijk is de aangetroffen waterstand een schijnwaterstand in een afgesloten tussenlaag, hetgeen een veelvoorkomend verschijnsel is in stortlichamen.

6 Geotechnische Risico's

Op basis van de aangetroffen terrein- en bodemgesteldheid kunnen verschillende geotechnische risico's worden geïdentificeerd, gerelateerd aan de bouw en het gebruik van de windturbine en het stortlichaam. Een overzicht van de risico's is aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 6-1: geotechnische risico's

Omschrijving risico voor windturbine en/of stort	Proces	Oorzaak/Mechanisme	Indicatieve risico-kwalificatie
Excessieve zakking en scheefstand van de windturbinefundering	Autonome zetting stort	- Zetting onder eigen gewicht - Degradatie van stortmateriaal - Gasonttrekking - Kruip stortmateriaal - Verschilzetting door recente aanpassing stort	Groot
	Zetting stortmateriaal	Verdichting en consolidatie door de opgelegde belasting van de windturbine	Groot
	Draagkracht stortmateriaal	Overschrijding van de draagkracht door hoge gronddrukken onder de fundering	Matig
Excessieve zakking en scheefstand van de kraan voor installatie van de windturbine	Zetting stortmateriaal	Verdichting en consolidatie door de opgelegde belasting van de kraan	Groot
	Draagkracht stortmateriaal	Overschrijding van de draagkracht door hoge gronddrukken onder de stempels of rupsen	Matig
Ontsnappen van gas uit het stort via de fundering	Gas	Gasvorming in het stort door bio-degradatie	Laag
Verzwakking van de fundering door biochemische effecten	Biochemisch	Uitspoelen van verontreinigd water met aantasting van het beton	Matig
Afname draagkracht door vermindering van gronddekking op de fundering	Regenwater	Erosie afdeklaag	Hoog
Ontsnappen van gas door afwezigheid afdeklaag	Regenwater	Erosie afdeklaag	Hoog
Vernatting stort	Drainage stortzool	Herhaalde dynamische belasting	Laag

De invloed van de realisatie en het gebruik van de windturbine op ondergrond, de ligging van de bodembeschermende voorzieningen en daarmee de stortzool moet specifiek onderzocht worden middels een modellering.

7 Referenties

Project specifieke documenten

- [REF1] Fugro, Geotechnisch onderzoek 3e windturbine deponie Sortiva te Alkmaar, Rapportage veldwerk. Definitief, kenmerk 2421-200982 Alkmaar, 27 juli 2022.
- [REF2] Fugro, Downhole seismisch onderzoek deponie Sortiva te Alkmaar. Definitief, kenmerk 2422-212542. 22 August 2022
- [REF3] HB Adviesbureau, Overzichtstekening positie derde windmolen. Tekeningnummer 2649Z100-DV-111. Status definitief. 15 september 2019.
- [REF4] HB Adviesbureau, Overzichtstekening eindsituatie deklaag. Tekeningnummer 2649Z100-DV-014. Status concept. 2 oktober 2020.
- [REF5] Sortiva, memo Geschiedenis Deponie Sortiva c.q. vraagstuk hergebruik brandbaar afval. Alkmaar, 11 mei 2012.
- [REF6] Sortiva, memo Haalbaarheid derde windturbine deponie Sortiva. Versie 1.0, 16 maart 2022.
- [REF7] Sortiva, memo Plan van aanpak Duurzaam storten Deponie Sortiva, Boekelerdijk 13 Alkmaar. 12 december 2019.
- [REF8] Royal HaskoningDHV, rapport Haalbaarheid 3e Windturbine op Deponie Sortiva te Alkmaar, Conceptueel geotechnisch en constructief funderingsontwerp. Kenmerk BI1738-RHD-WM-RM-RP-GT-0002. 6 oktober 2022.

Achtergronddocumenten

- [REF9] Seed, H.B. en Idriss, I.M., Soil moduli and damping factors for dynamic response analysis. Report EERC 70-10, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkely, Dec 1970.
- [REF10] Ramaiah, B.J. e.a., Empirical Model for Shear Wave Velocity of Municipal Solid Waste In Situ. Technical Note, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, July 2015.
- [REF11] Poulos, H.G., Research Article 'Use of Shear Wave Velocity for Foundation Design'. Preprint, May 2021.

Bijlage 1

Resultaten boor- en sondeeronderzoek

Veldwerkrapportage Fugro



Geotechnisch onderzoek 3e windturbine deponie Sortiva te Alkmaar

Rapportage veldwerk | Alkmaar

2421-200982 | 27-07-2022

Definitief

Documentbeheer

Documentgegevens

Projectnaam	RHDHV NL Geotechnisch onderzoek 3e windturbine deponie Sortiva te Alkmaar
Documentnaam	Rapportage veldwerk
Fugro-projectnr.	2421-200982
Fugro-documentnr.	2421-200982-21-R01
Versienummer	1.0
Versiestatus	Definitief
Fugro entiteit	Fugro NL Land B.V.
Adres Fugro-kantoor	Prismastraat 2, 2631 RT, Nootdorp
Telefoonnummer	+31 70 311 1333

Klantgegevens

Klant	HaskoningDHV Nederland B.V.
Klant adres	Postbus 1132, 3800 BC, AMERSFOORT
Contact klant	J. Cools

Versiebeheer

Versie	Datum	Status	Omschrijving	Opgesteld door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
1.0	27-07-2022	Definitief			GHE	JDW

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
JDW	J. de Wolff	Senior Projectmanager Geo-Projecten
GHE	G. Hofstede	Werkvoorbereider

Uitgevoerde werkzaamheden

In week 29 van 2022 is een geotechnisch onderzoek uitgevoerd door Fugro en GroundResearch ten behoeve van het plaatsen van een derde windturbine op het terrein van Sortiva Alkmaar. De scope voor dit onderzoek is bepaald in afstemming tussen Sortiva en HaskoningDHV en bestond uit:

Vorbereidende werkzaamheden:

- KLIC-melding
- Uitzetten en waterpassen onderzoekspunten t.o.v. RD en NAP

Veldwerkzaamheden:

- 5x sonderen met kleefmeting tot ca. mv -25m.
- 1x sonisch boren t.b.v. bodembeschrijving tot ca. mv -22m.
- 2x VSP (Vertical Seismic Profiling)
incl. 2 aanvullende boringen tot ca. mv -22m.

Overig

- rapportage in PDF
- levering veldwerkresultaten in PDF en GEF

Deze rapportage bevat de resultaten van de uitgevoerde sonderingen (uitgevoerd door Fugro) en de boorstaat van de boring ten behoeve van de bodembeschrijving (uitgevoerd door GroundResearch). De rapportage van de VSP-metingen zal separaat plaatsvinden.

Uitvoeringsaspecten

Inmeten maaiveld

De onderzoekspunten (RDX, RDY) en de hoogte van het maaiveld (meters ten opzichte van NAP) zijn vastgesteld door middel van een GPS-meting (RTK-GPS). Alle locaties zijn ingemeten met een nauwkeurigheid < 10 cm.

Sonderen

De sonderingen zijn uitgevoerd met de volgende specificaties:

- De sonderingen zijn uitgevoerd met conussen die worden geproduceerd en gekalibreerd in ons conuslaboratorium dat door de Raad voor Accreditatie onder ISO/IEC 17025 (2005) is geaccrediteerd, conform de vigerende richtlijnen (klasse 2);
- Om de verdichtingsgraad goed te kunnen interpreteren, zijn de sonderingen uitgevoerd met meting van de plaatselijke wrijving (verhouding wrijving/conusweerstand in procenten);
- Eventuele afwijkingen van de verticaal van de sondeerstreng zijn gecontroleerd met behulp van een in de conus ingebouwde hellingmeter.

Om op diepte te komen, zijn sonderingen voorgeboord met inzet van de sonische boorstelling van GroundResearch. Tijdens het boren is een hulpbuis geplaatst, waardoor is gesondeerd. Na het uitvoeren van de sonderingen is de hulpbuis verwijderd en zijn de boorgaten afgedicht met zwelklei.

Tijdens het sonderen is gebleken dat er vele obstakels in de bodem aanwezig zijn, waardoor het niet in alle gevallen mogelijk was om op diepte te komen, ondanks gebruikmaking van bovenvermelde werkwijze (zie Rapportageoverzicht). Hierover is vooraf in de offerte aangegeven:

Omdat niet geheel duidelijk is welke materialen zich op welke diepte in het stortlichaam bevinden, kan ook met voorboren geen garantie worden gegeven over het bereiken van de gewenste einddiepte.

Het aantal sondeer pogingen per locatie is in afstemming met Sortiva bepaald.

Bij de presentatie van de sonderingen is de zogenaamde 'Robertson classificatie' achterwege gelaten, aangezien deze niet van toepassing is voor afvaldeponie locaties. Hierover is vooraf in de offerte aangegeven:

Data kunnen afwijken of moeilijk te interpreteren zijn vanwege de onbekende bodemopbouw.

Boren

Bij de sonische boring ten behoeve van de bodembeschrijving is het opgeboorde materiaal bekeken en zoveel mogelijk geïdentificeerd door de boormeester. Na het uitvoeren van de boring is het boorgat afgedicht met zwelklei.

Er is voor gekozen om op 1 boorlocatie de boringen ten behoeve van de bodembeschrijving en de VSP-meting te laten samenvallen. De boring ten behoeve van de bodembeschrijving is hierbij als eerste uitgevoerd, waarna de boring ten behoeve van de VSP-meting op dezelfde locatie met een grotere diameter is uitgevoerd en afgewerkt met een pvc-buis, omstort met een mengsel van zwelklei en grout. Hierover heeft aanvullende afstemming met Sortiva plaatsgevonden.

De boorbeschrijving zoals opgesteld door GroundResearch is toegevoegd als bijlage bij deze rapportage.

Veiligheid

Vanwege mogelijk contact met verontreinigde grond en stortplaatsemissies is gewerkt met een V&G plan (versie 1.1 d.d. 11 juli 2022), toegelicht door een HVK tijdens de kick-off op 18 juli 2022. De werkzaamheden zijn hierna op basis van het V&G plan begeleid door een R-DLP.

De registratie van de door de R-DLP uitgevoerde metingen zal separaat worden toegezonden.

Inhoudsopgave

1. Rapportageoverzicht
2. Situatietekening
3. Onderzoeksdata
4. Toelichting geotechnisch onderzoek
5. Continu elektrisch sonderen
6. Legenda terreinproeven

Bijlage:
Boorstaat B01 (GroundResearch)

1. Rapportageoverzicht

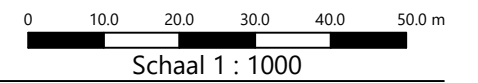
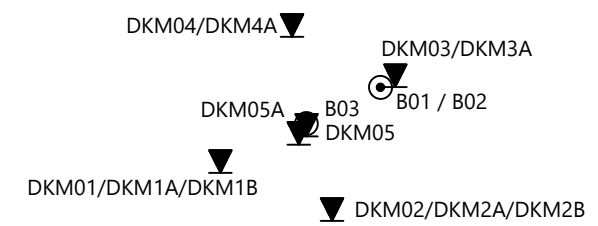
Rapportageoverzicht

Projectnaam: RHDHV NL Geotechnisch onderzoek deponie Sortiva te Alkmaar
 Fugro-projectnr.: 2421-200982

Naam	RD Coördinaten (m)		Hoogte (m) t.o.v. NAP	Grondwater- stand (m) t.o.v. NAP	Opmerking
	X	Y			
DKM01	112181.6	512560.4	+26.44		Gestaakt, obstakel(s)
DKM01A	112181.6	512560.4	+26.44		Gestaakt, obstakel(s)
DKM01B	112181.6	512560.4	+26.44		
DKM02	112196.4	512554.0	+26.60		Gestaakt, max. toelaatbare helling
DKM02A	112196.4	512554.0	+26.60		Gestaakt, max. toelaatbare helling
DKM02B	112196.4	512554.0	+26.60		
DKM03	112204.8	512571.7	+26.28		Gestaakt, max. toelaatbare helling
DKM03A	112204.8	512571.7	+26.28		Gestaakt, obstakel(s)
DKM03B	112204.8	512571.7	+26.28		Gestaakt, obstakel(s)
DKM04	112191.1	512578.4	+26.25		
DKM04A	112191.1	512578.4	+26.25		
DKM05	112193.0	512565.2	+26.32		Gestaakt, max. toelaatbare helling
DKM05A	112192.0	512564.1	+26.32		Gestaakt, max. toelaatbare helling
B01 / B02	112202.8	512570.0	+26.38		Uitgevoerd door derden
B03	112193.0	512565.2	+26.32		Uitgevoerd door derden

2. Situatietekening

P:\24\2421-200982\02_PD_CPT_Drilling\10_Basisgegevens\2421-200982.dwg
Get.: GBO dd: 25-07-2022
Revisie Datum :



SITUATIE

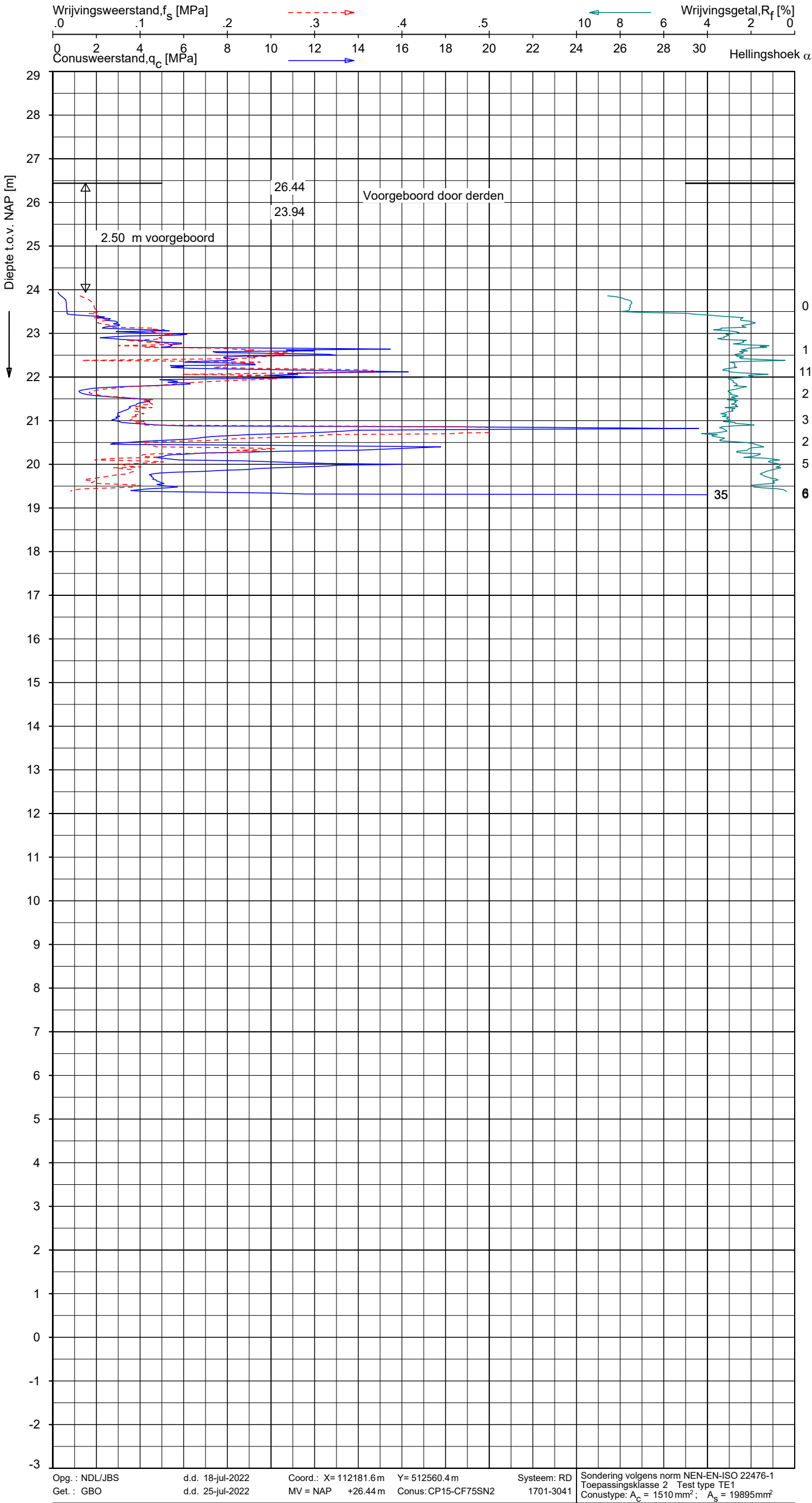
RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr.: 2421-200982

Bijl. : 1



3. Onderzoeksdata

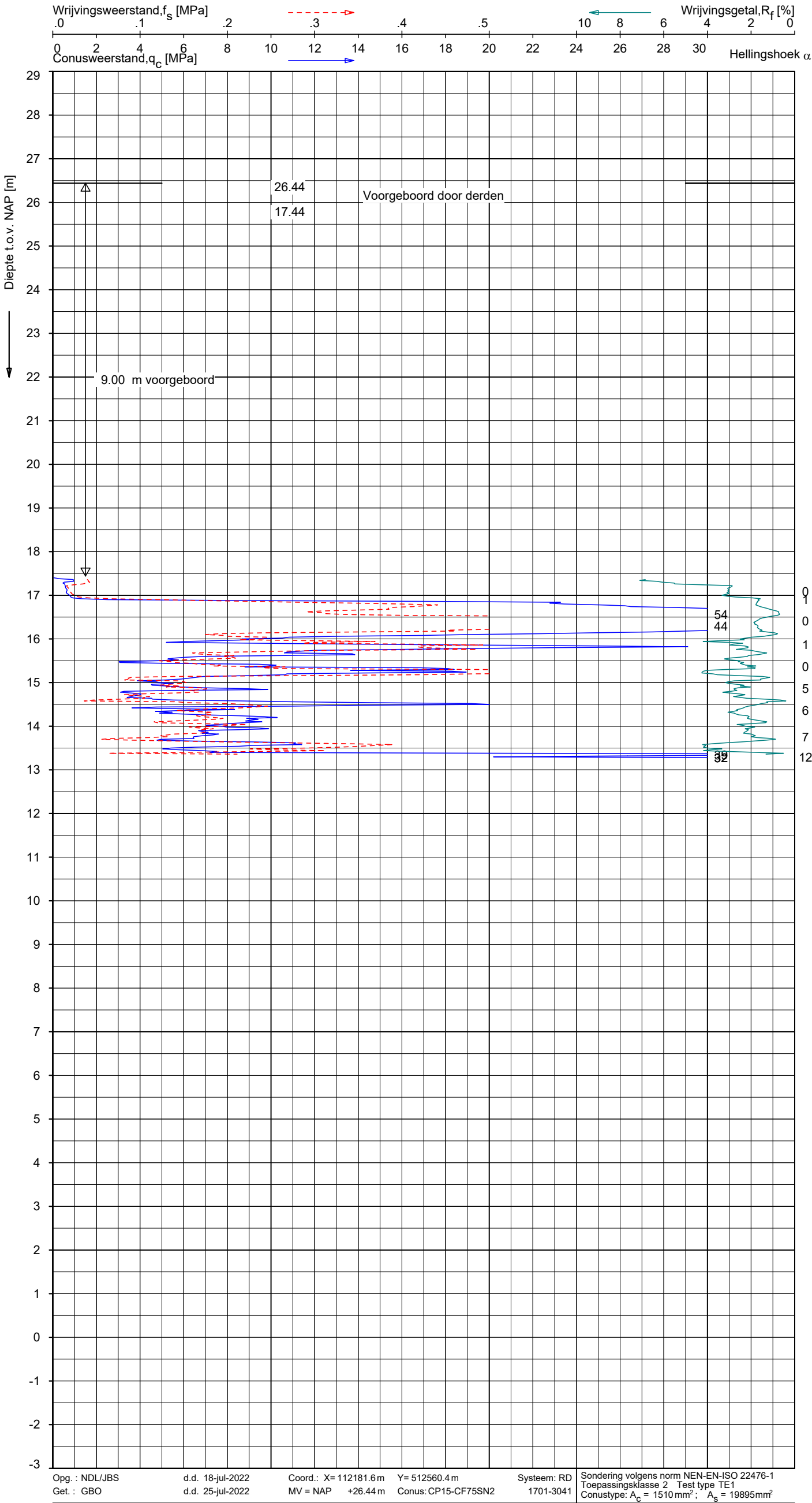


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM01



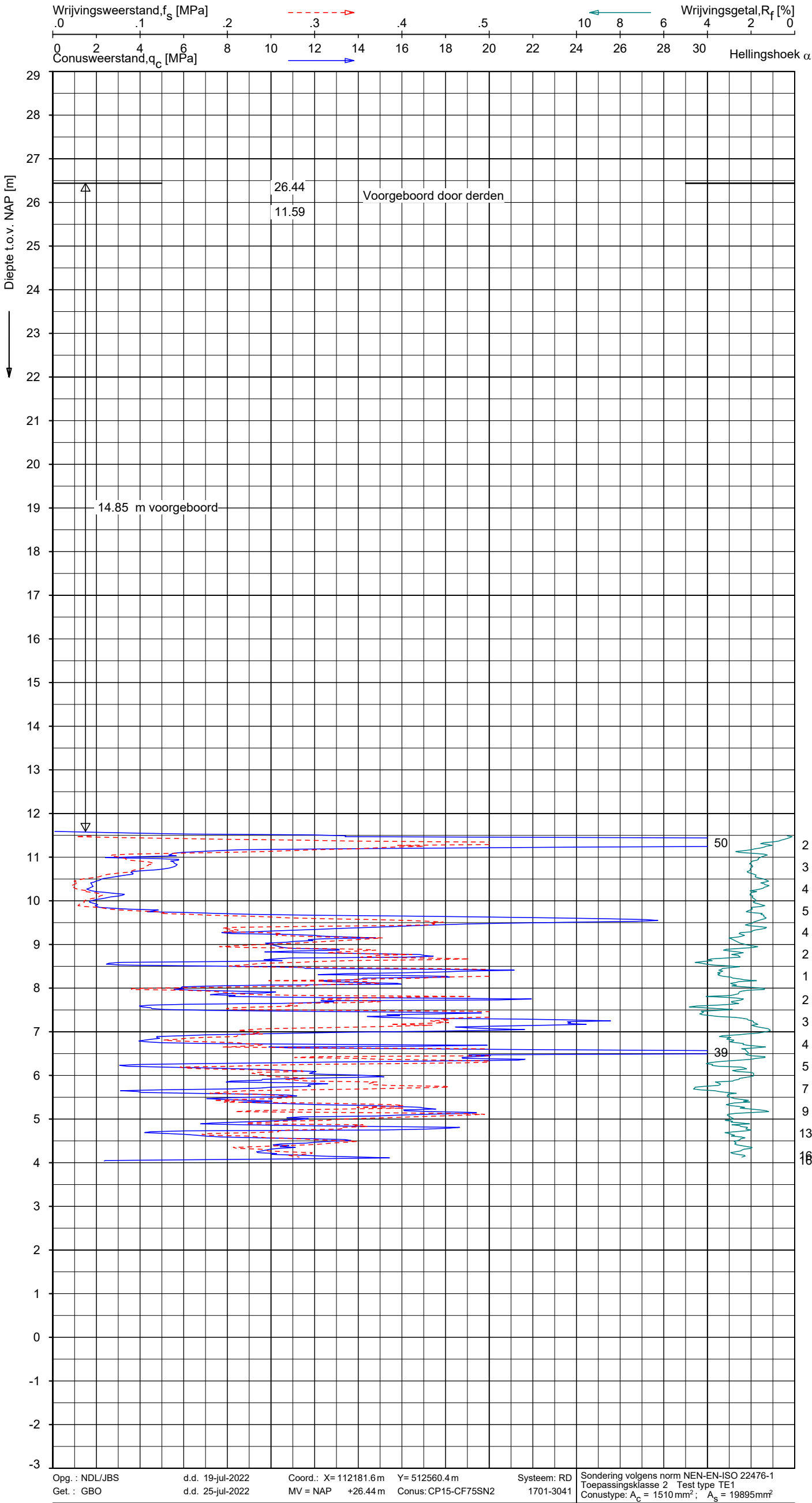


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM01A



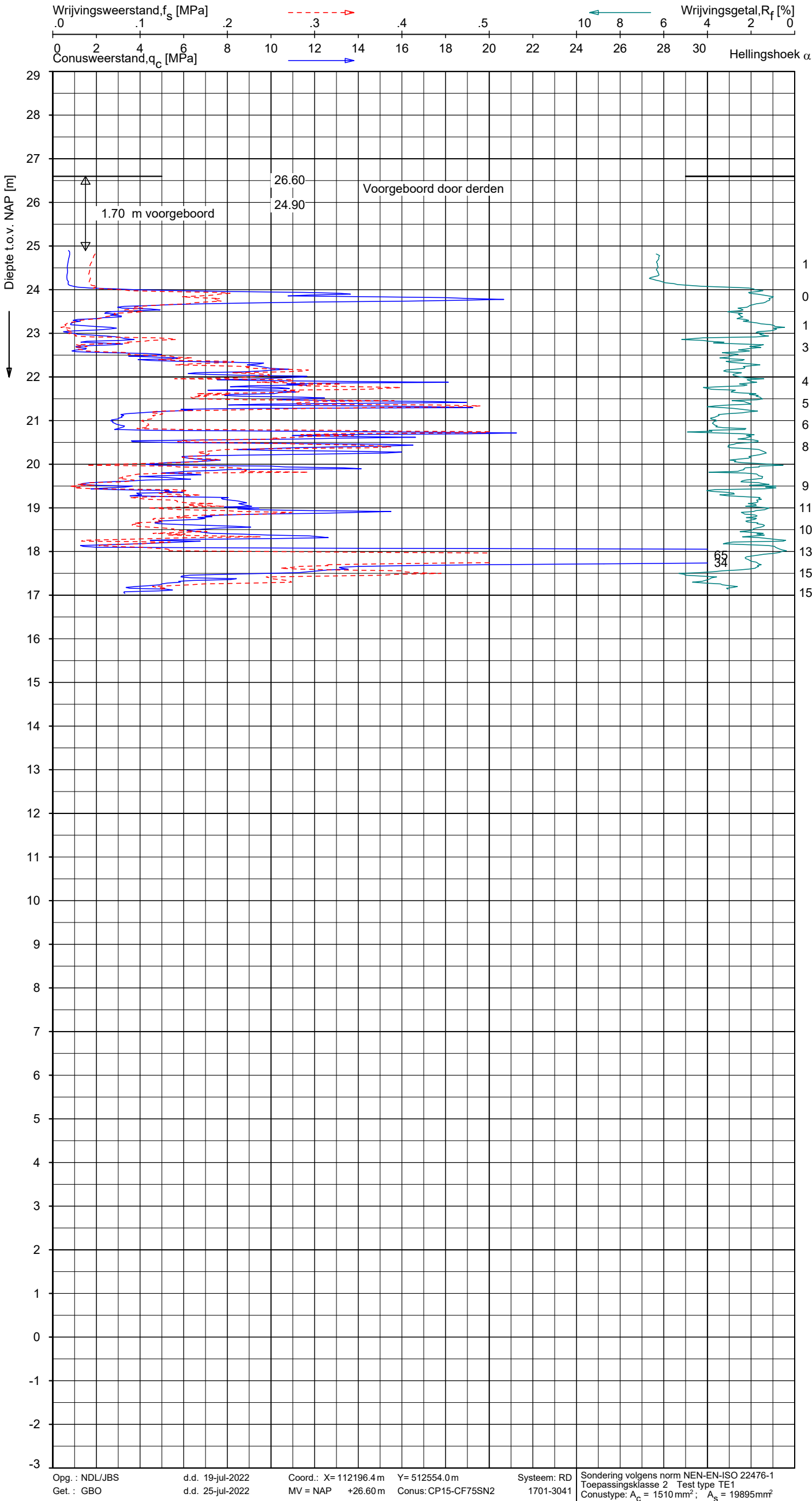


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM01B



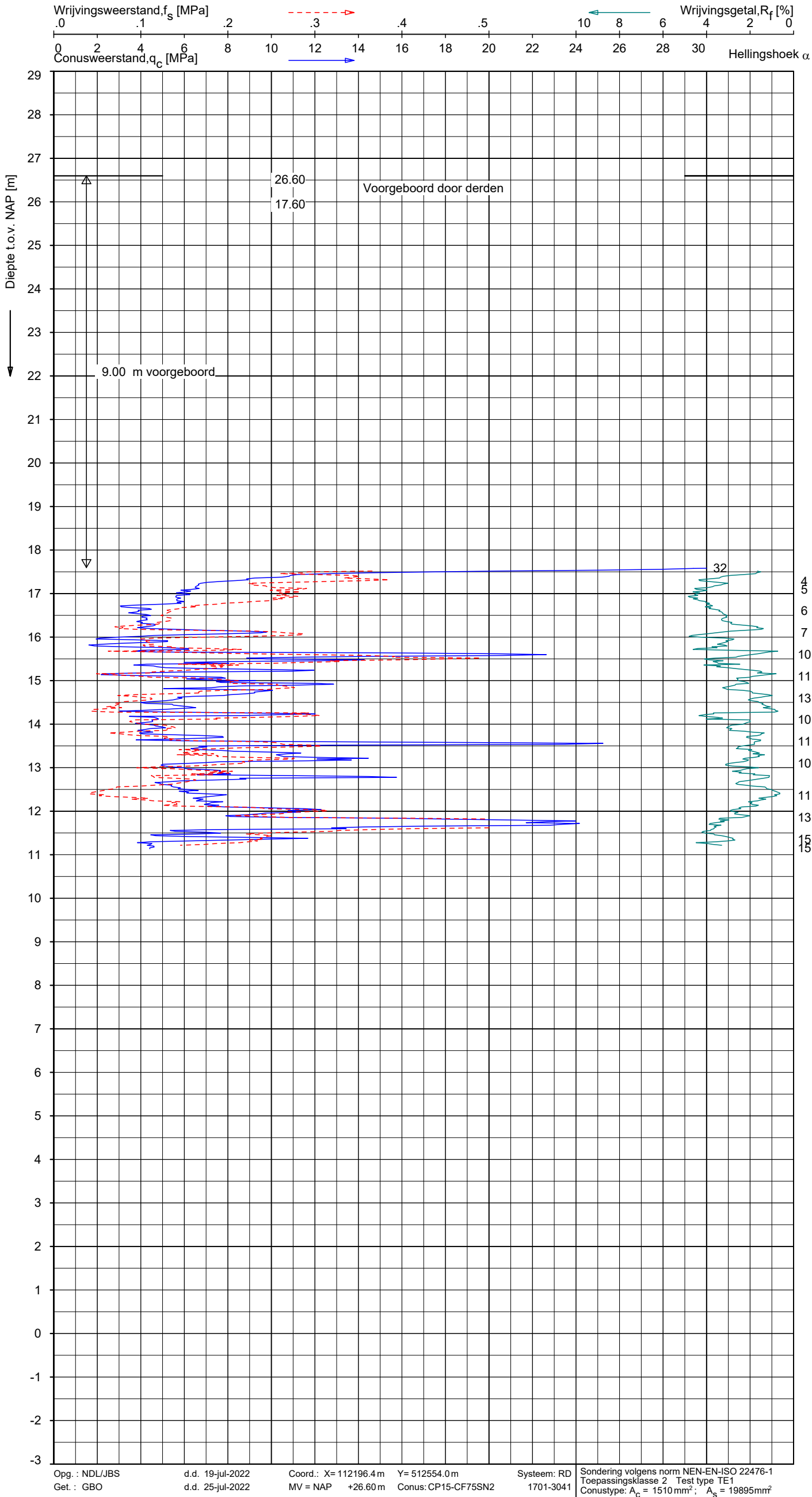


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM02



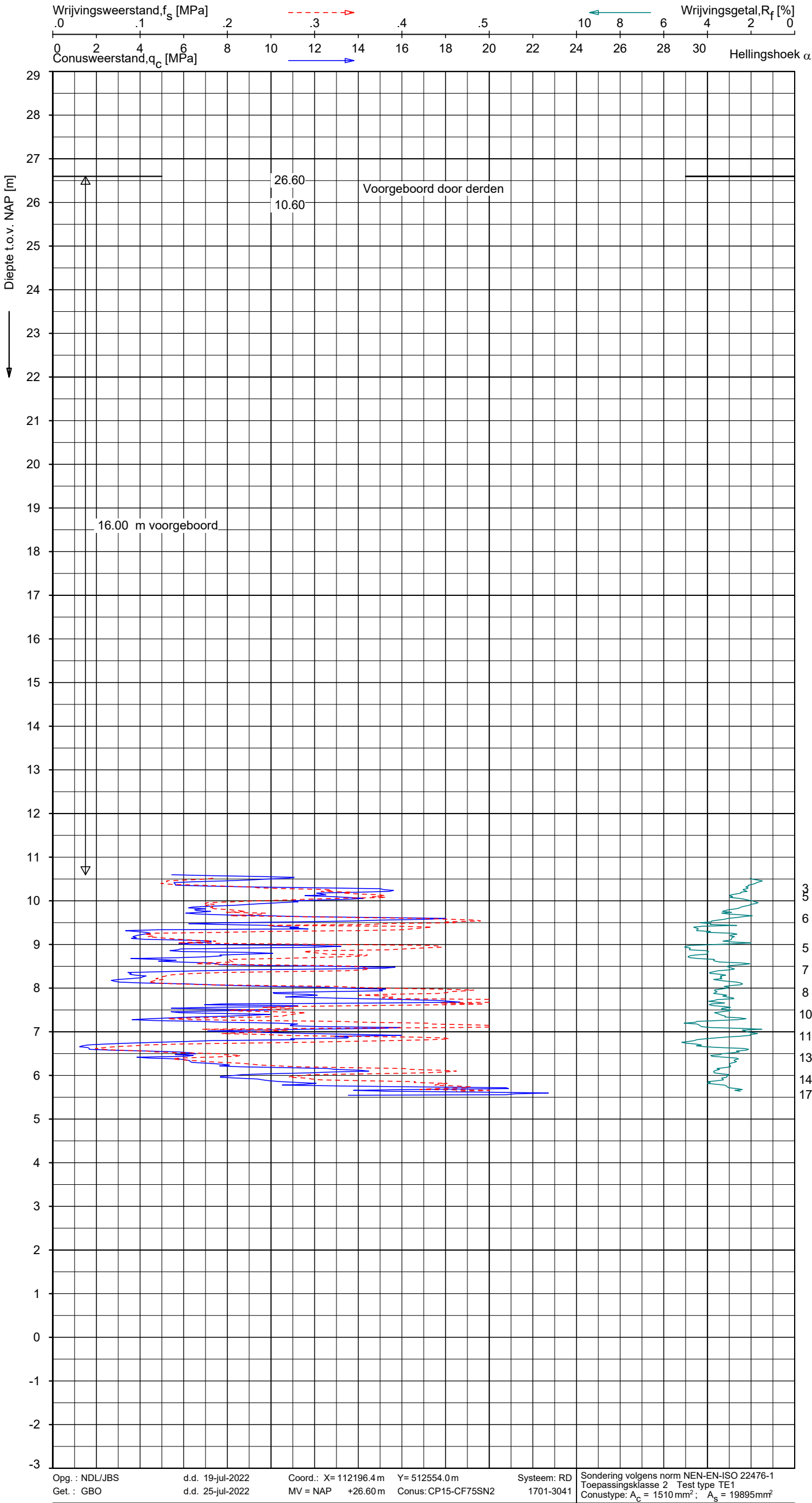


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM02A

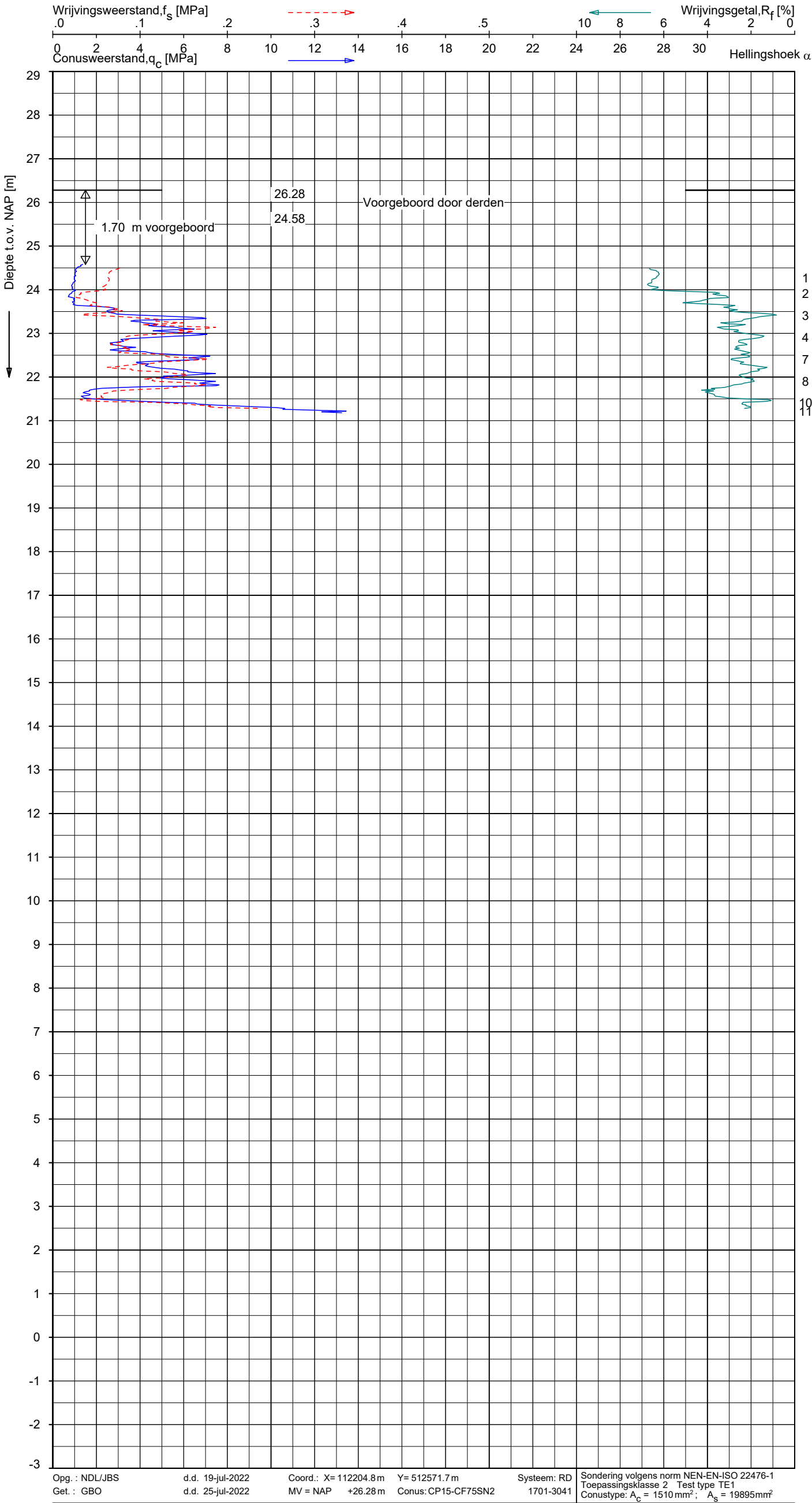




SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM02B



Diepte t.o.v. NAP [m]

↓

29282726252423222120191817161514131211109876543210-1-2-3

1234781011

1.70 m voorgeboord

26.28

24.58

Voorgeboord door derden

Opdr. : NDL/JBS

d.d. 19-jul-2022

Coord.: X= 112204.8 m Y= 512571.7 m

Systeem: RD

Sondering volgens norm NEN-EN-ISO 22476-1

Get. : GBO

d.d. 25-jul-2022

MV = NAP +26.28 m Conus: CP15-CF75SN2

1701-3041

Toepassingsklasse 2 Test type TE1

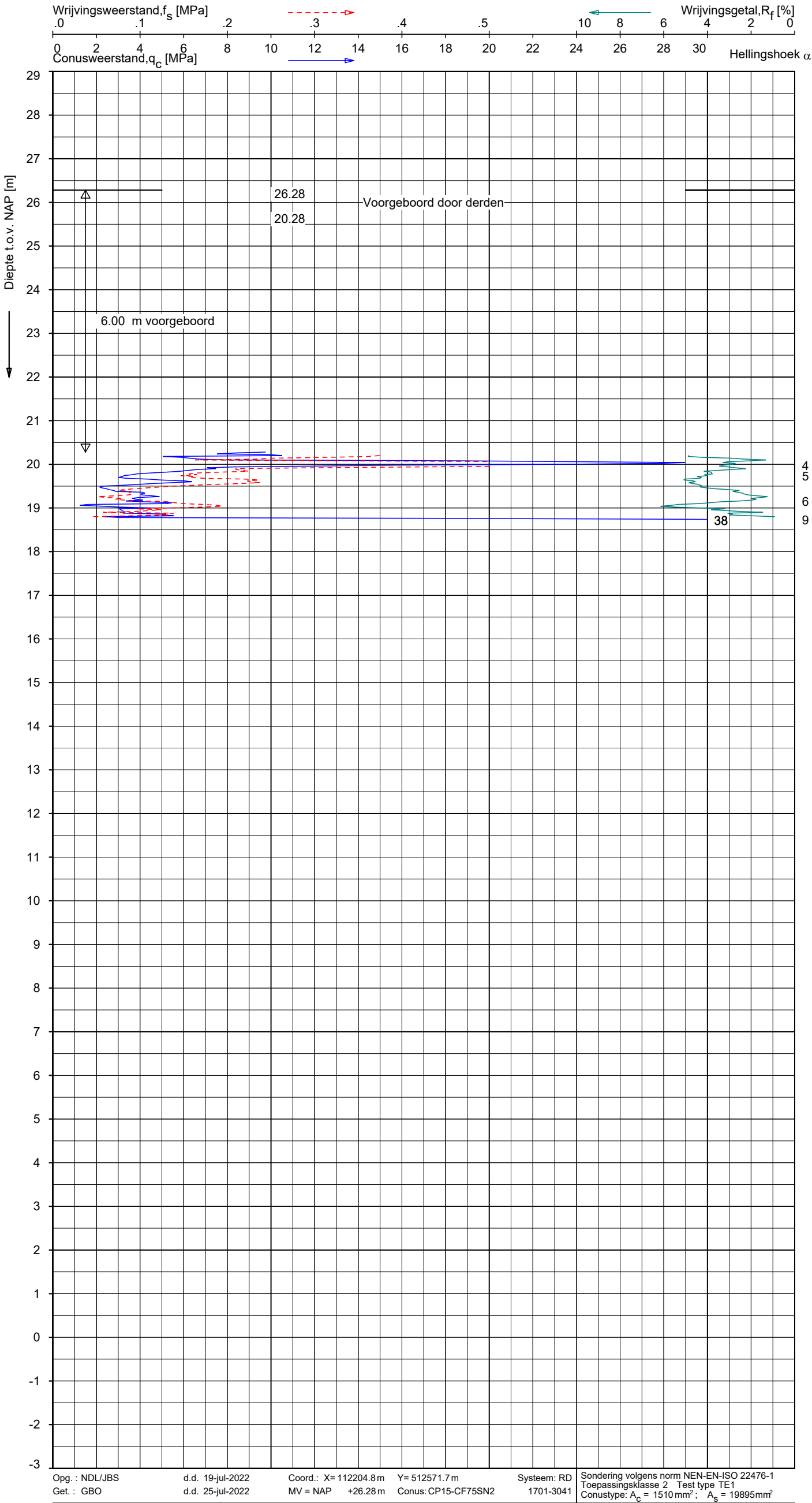
Conustype: $A_c = 1510 \text{ mm}^2$; $A_s = 19895 \text{ mm}^2$

SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM03

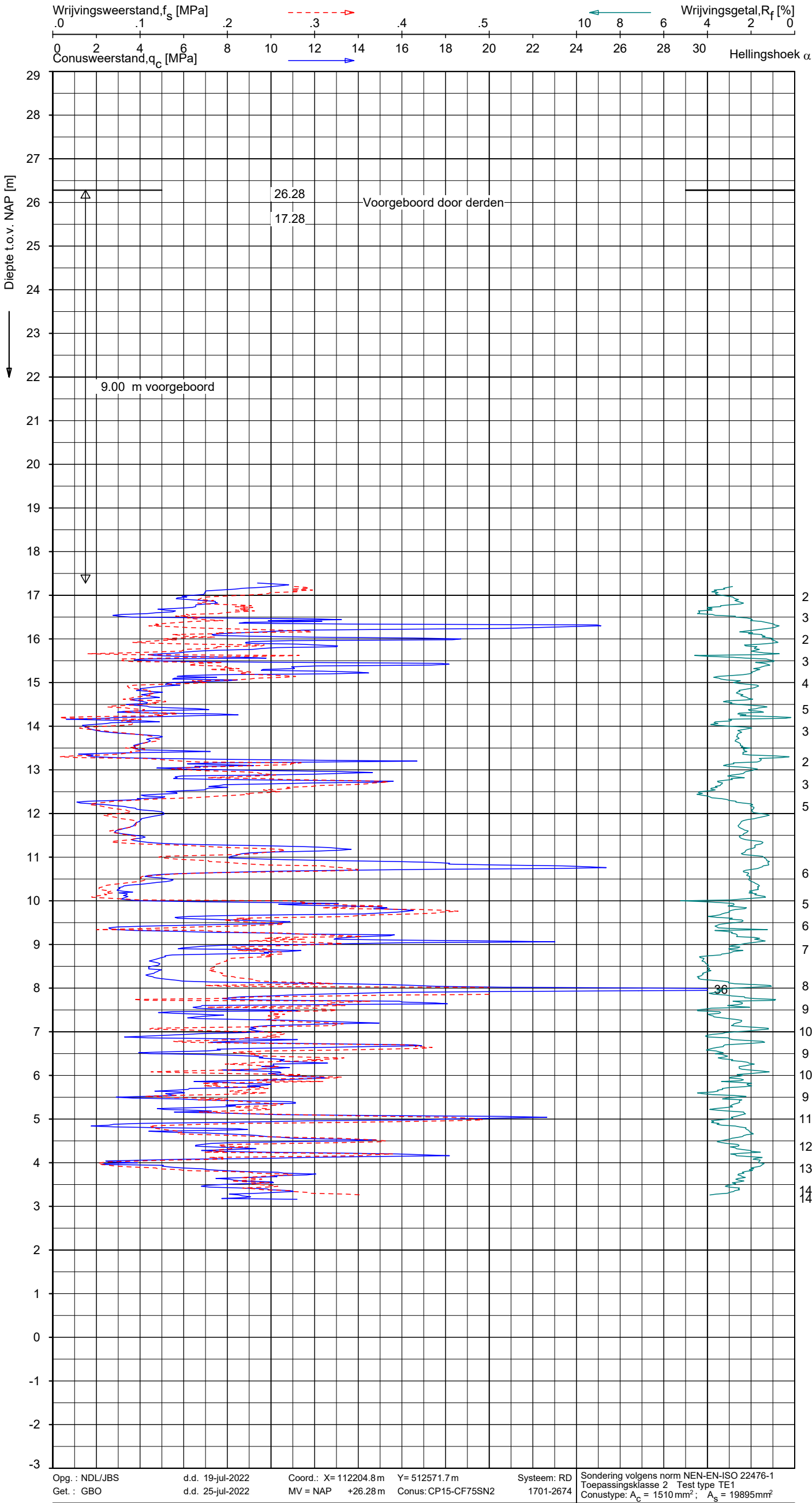




SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM03A

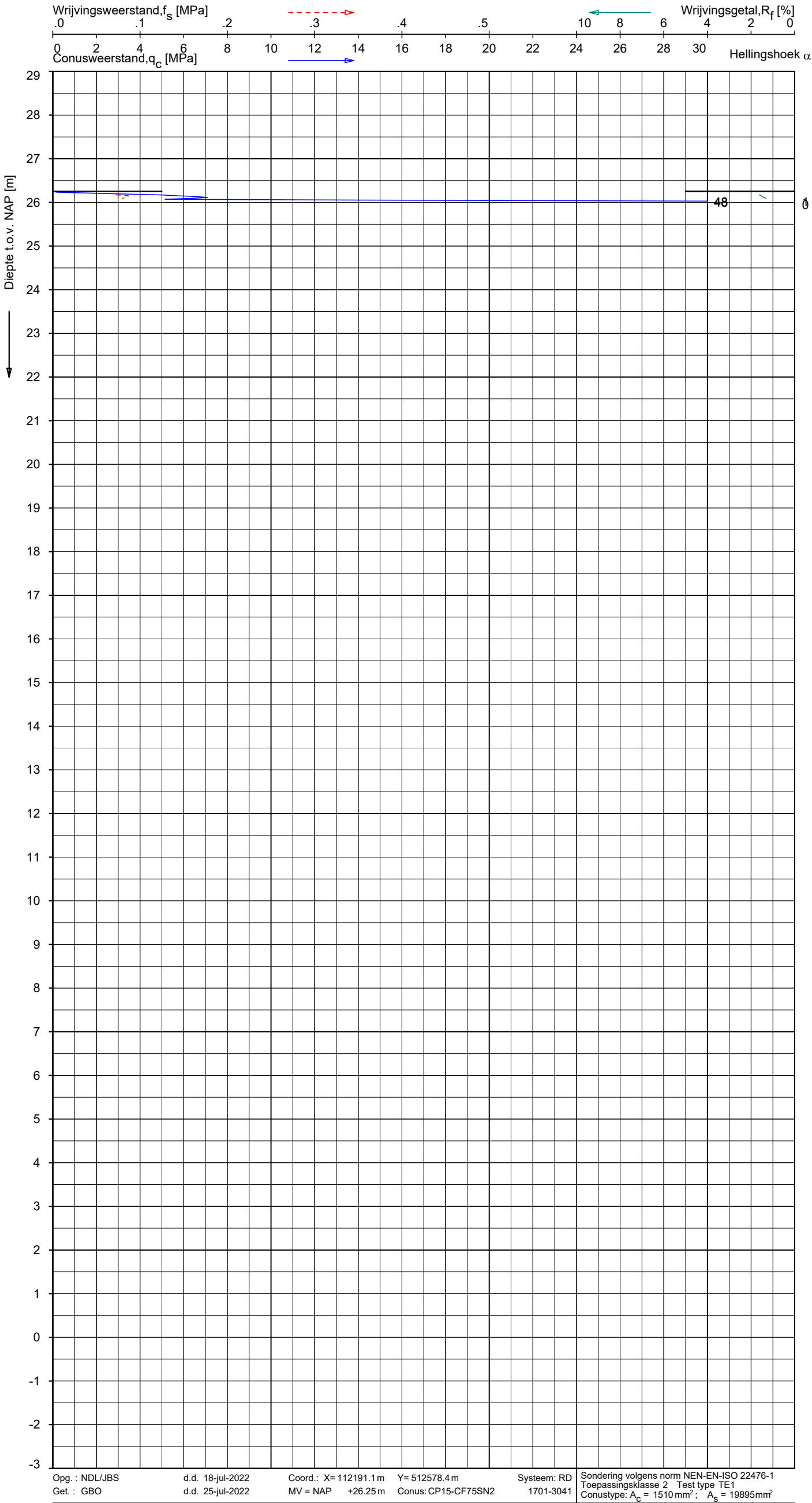


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM03B



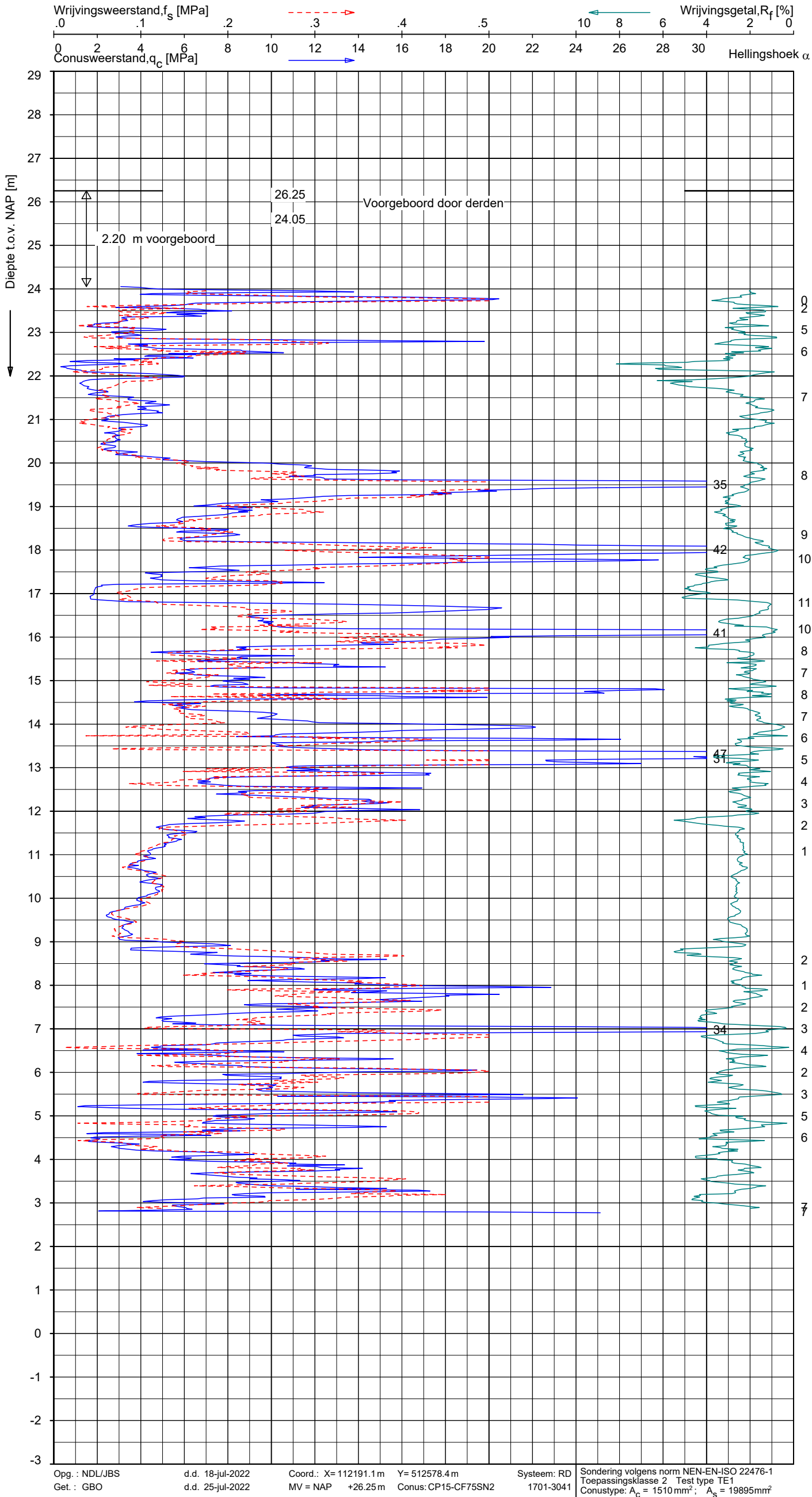


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM04



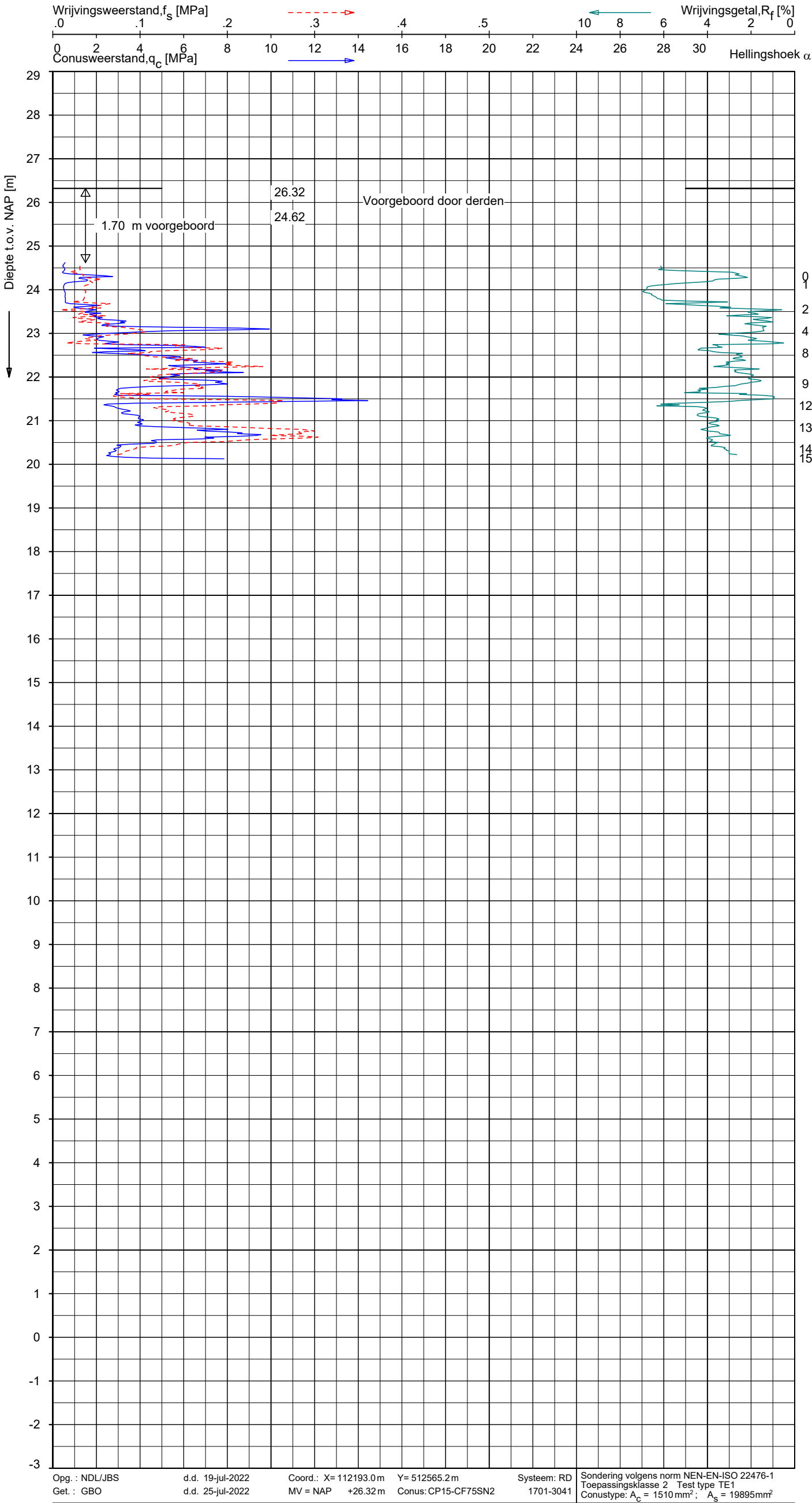


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM04A



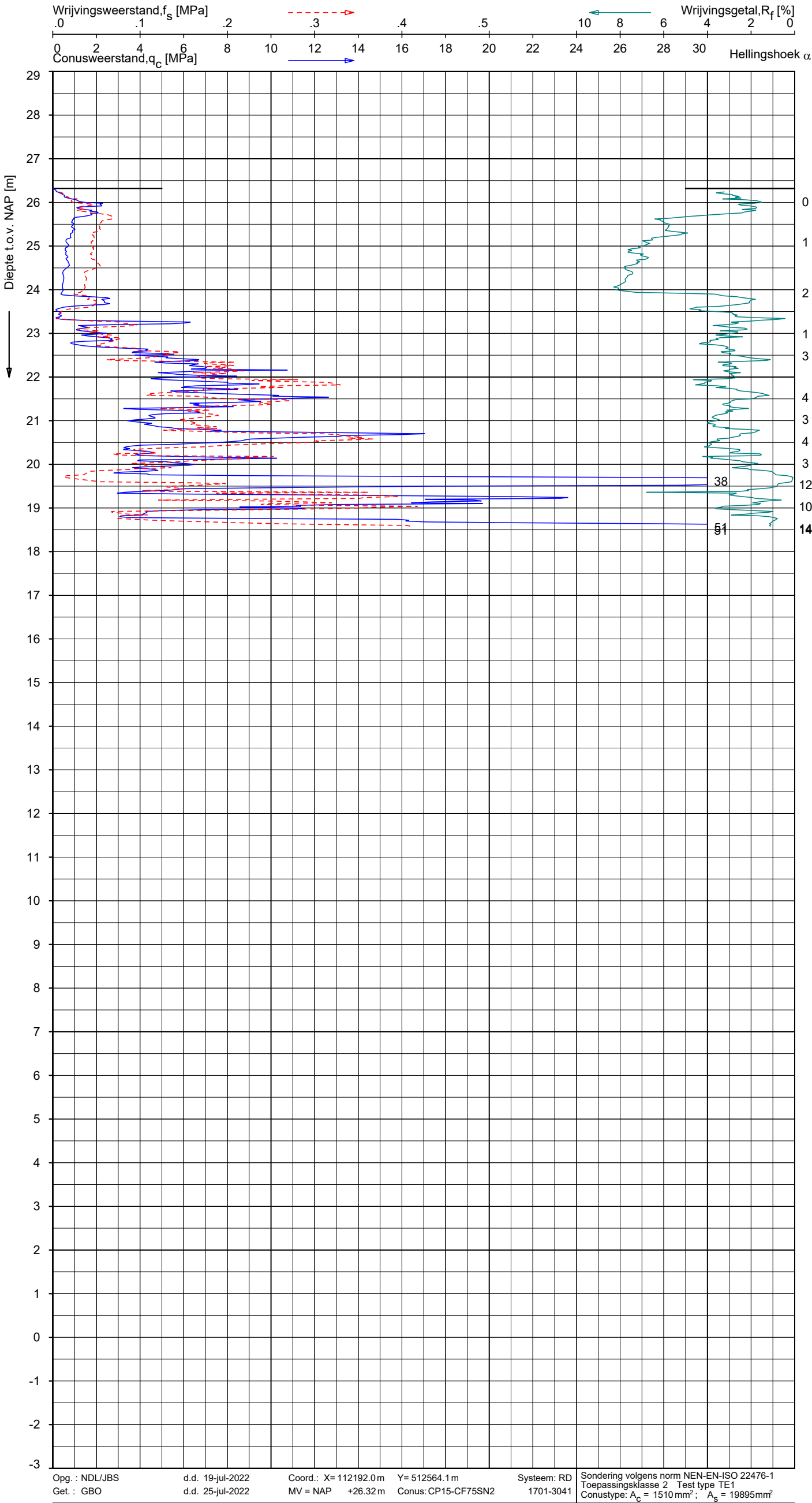


SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM05





SONDERING MET PLAATSELIJKE KLEEFMETING

RHDHV NL GEOTECHNISCH ONDERZOEK DEPONIE SORTIVA TE ALKMAAR

Opdr. 2421-200982
Sond. DKM05A



4. Toelichting geotechnisch onderzoek

Toelichting geotechnisch onderzoek

Coördinaten en hoogte van de onderzoekspunten

Indien de hoogte en coördinaten van de onderzoekslocaties zijn bepaald in NAP en RD bedragen de maximale afwijking van de meting van de coördinaten ca. 10 cm en de maximale afwijking van de meting van de hoogte ca. 5 cm. Bij projecten waarbij de sonderingen zijn gerefereerd aan een lokaal vast punt bedraagt de maximale afwijking in de hoogte ca 5 cm. De maximale afwijking in de maatvoering door middel van traditioneel uitzetten met een meetband bedraagt ca. 25 cm.

Indien de onderzoekslocaties niet zijn gerefereerd aan een vaste referentiehoogte wijkt het onderzoek af van de gestelde eisen in de NEN-EN-ISO 22476-1.

De hoogtebepaling van de onderzoekslocaties is uitgevoerd met als doel de bodemopbouw te refereren aan een vaste referentiehoogte. Deze gegevens zijn niet geschikt voor andere doeleinden dan dit onderzoek.

Sonderen

Een beschrijving van de gevolgde meet- en registratiemethode is gegeven in de bijlage 'Continu Elektrisch Sonderen'.

Boren

Mechanisch boorwerk wordt verbuisd uitgevoerd, waarbij de grond uit de buis wordt verwijderd met behulp van een puls (niet-cohesieve gronden) en/of een avegaarboor (cohesieve gronden).

Bij handboren wordt gebruik gemaakt van een edelmanboor (cohesieve gronden) en een handpuls (niet-cohesieve gronden).

De werkzaamheden worden uitgevoerd conform de NEN-EN-ISO 22475-1.

Peilbuizen worden gepresenteerd op de betreffende boorstaten. De boringen met peilbuis zijn met bijbehorend symbool aangegeven op de situatietekening.

Ongeroerde monsternamen bij het mechanisch boren kan plaatsvinden door:

- Een Ackermann steekbus te slaan of te drukken;
- Een Pistonbus te drukken;
- Een Gelpush monster te drukken.

Bij handboren worden ongeroerde monsters genomen met een Van der Horst-steekapparaat.

De tijdens het boren genomen geroerde monsters worden in het veld globaal geïdentificeerd. Als er laboratoriumonderzoek volgt na het veldwerk, worden in het laboratorium de monsters gedetailleerd geclassificeerd en/of geïdentificeerd. Bij eventuele verschillen tussen de veld- en laboratorium-identificatie is de laboratoriumidentificatie bepalend.

Op het beschrijven van grond is de NEN-EN-ISO 14688-1 of NEN 5104 van toepassing. Op de boorstaat staat aangegeven welke NEN Norm gehanteerd is.

(Grond)waterstand

De gemeten (grond)waterstand(en) betreffen een eenmalige opname en zijn bedoeld als een oriënterend gegeven. De grondwaterstand kan in de tijd fluctueren onder invloed van de weersgesteldheid en de seizoenen.

Kwaliteitsborging

Alle werkzaamheden zijn verricht in overeenstemming met het managementsysteem van Fugro NL Land B.V. dat voldoet aan de NEN-ISO 9001:2015 en VCA ** 2008/5.1.

De kalibratiesheet(s) van de gebruikte conus(sen) kunnen op verzoek worden toegestuurd.

5. Continu elektrisch sonderen

Continu elektrisch sonderen

Meettechniek

De standaard bij Fugro toegepaste conus is de 'elektrische kleefmantelconus', waarmee de conusweerstand, de plaatselijke wrijvingsweerstand en de helling gelijktijdig worden gemeten. Sinds februari 2013 is de norm *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013 Geotechnisch onderzoek en beproeving – Veldproeven – Deel 1: Elektrische sondering met en zonder waterspanningsmeting* van toepassing als vervanging van NEN 5140, die is teruggetrokken. In NEN 9997-1 wordt echter nog wel verwezen naar NEN 5140.

Bij het uitvoeren van een sondering conform *NEN-EN-ISO 22476-1:2012/C1:2013* wordt de puntweerstand gemeten, die moet worden overwonnen om een conus met een tophoek van 60° en een basisoppervlak van 1000 mm² met een constante snelheid van ca 20 mm/s in de bodem te drukken. Voor de meting van de wrijvingsweerstand is een mantel met een oppervlak van 15000 mm² boven de punt aangebracht. De druk op de conuspunt (conusweerstand in MPa) en de wrijving langs de kleefmantel (plaatselijke wrijvingsweerstand in MPa) worden door rekstroken in de conus continu digitaal gemeten. Het basisoppervlak van de conus mag tussen 500 en 2000 mm² variëren zonder dat correctiefactoren op de meetresultaten moeten worden toegepast. Fugro sonderingen worden standaard uitgevoerd met een sondeerconus met een basisoppervlak van 1500 mm² en een manteloppervlak van 20000 mm².

Veelal wordt gebruik gemaakt van een conus met een korter cilindrisch deel boven de conuspunt dan in NEN-EN-ISO 22476-1 vermelde 400 mm voor een standaard conus. Het cilindrische deel vanaf de conuspunt van de standaard door Fugro gebruikte conussen heeft een lengte van 230 mm in plaats van de genormeerde lengte. Onderzoek* heeft aangetoond, dat de invloed van de lengte van deze conus op het sondeerresultaat verwaarloosbaar is, terwijl met een kortere conus met minder risico een grotere sondeerdiepte kan worden bereikt.

De meetsignalen worden digitaal naar een elektrische meeteenheid gestuurd en samen met de diepte en de tijd opgeslagen. Definitieve verwerking vindt daarna op kantoor plaats, waarbij de gemeten parameters tegen de diepte in grafiekvorm worden uitgewerkt. Door continue registratie van de gemeten conus- en wrijvingsweerstand wordt een nauwkeurig beeld van de gelaagdheid en de vastheid van de bodem verkregen.

Afwijking van de conus met de verticaal worden continu geregistreerd, waarmee bij de uitwerking de diepte wordt gecorrigeerd en zo een onjuiste diepte-aanduiding als gevolg van 'scheef sonderen' wordt voorkomen.

Interpretatie van de sonderingen met plaatselijke wrijvingsweerstand

Meting van zowel de conusweerstand q_c als de plaatselijke wrijvingsweerstand f_s maakt het mogelijk het wrijvingsgetal R_f te berekenen. Het wrijvingsgetal wordt gedefinieerd als het quotiënt van de

* Lunne and Powell, A comparison of different sized piezocones in UK clays.

plaatselijke wrijving en de op gelijke diepte gemeten conusweerstand in procenten. Hierbij wordt rekening gehouden met laagscheidingen ter hoogte van de mantel.

Het wrijvingsgetal R_f geeft samen met de conusweerstand q_c een goed beeld van de bodemopbouw *beneden* de grondwaterspiegel. In de onderstaande tabel zijn enige kenmerkende waarden van het wrijvingsgetal aangegeven. *Met nadruk dient te worden gesteld dat deze waarden slechts indicatief zijn en getoetst dienen te worden aan boringen of lokale ervaring en uitsluitend gelden voor de cilindrische elektrische conus.*

Tabel 1: Wrijvingsgetal per grondsoort

Grondsoort	Wrijvingsgetal in %	Grondsoort	Wrijvingsgetal in %
Grind, grof zand	0,2 – 0,6	Klei	3,0 – 5,0
Zand	0,6 – 1,2	Potklei	5,0 – 7,0
Silt, löss	1,2 – 4,0	Veen	5,0 – 10,0

In geroerde grond en in grond boven de grondwaterspiegel kunnen grote afwijkingen ten opzichte van de genoemde waarden voorkomen en gelden deze waarden niet.

Presentatie sondeergegevens

Sonderingen kunnen worden uitgewerkt met interpretatie van het wrijvingsgetal voor identificatie van de bodemlagen. De identificatie van de bodemlagen is dan uitgevoerd volgens Robertson [1990][†], die door Fugro is aangepast aan de Nederlandse omstandigheden. Bij deze interpretatie wordt uitgegaan van de genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f als ingangsparameters.

De genormaliseerde waarden van de conusweerstand nQ_c en wrijvingsgetal nR_f worden berekend, uit de gemeten wrijvingsweerstand f_s en conusweerstand q_c , indien mogelijk gecorrigeerd voor de waterspanning en de verticale effectieve - en totale grondspanning volgens de onderstaande formules.

Genormaliseerde conusweerstand:

$$nQ_c = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

Vergelijking 1

Genormaliseerd wrijvingsgetal

$$nR_f = \frac{100 \cdot f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

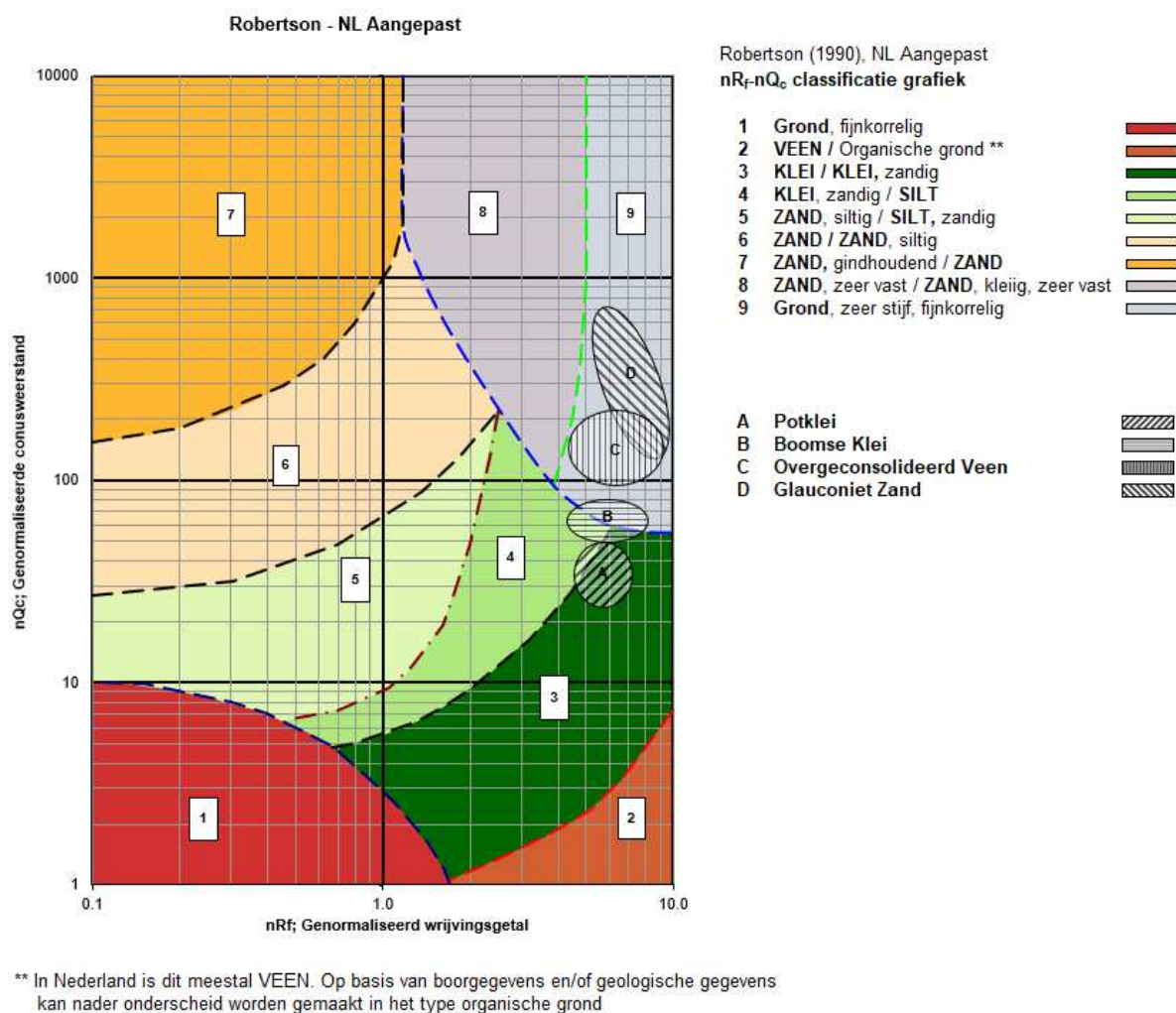
Vergelijking 2

In geval er geen waterspanning is gemeten, wordt voor q_t de waarde van q_c gebruikt.

[†] Robertson, P.K. [1990] "Soil Classification using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158

Voor de grondsoorten, die specifiek zijn voor de Nederlandse ondergrond condities, zijn in de Bodem Classificatiegrafiek van Robertson [1990] twee aanpassingen gedaan om de Nederlandse situatie beter te beschrijven:

- gebieden 4 en 5 zijn anders ingedeeld, zodat losgepakte zanden en ondiepe kleilagen beter worden geïnterpreteerd. Deze aanpassingen zijn in onderstaande figuur weergegeven;
- er is een extra voorwaarde ingebracht om Holocene veenlagen goed te kunnen classificeren. Voor $q_c < 1,5 \text{ MPa}$ en $R_f > 5 \%$ wordt de grond als veen geïnterpreteerd.



Figuur 1: Classificatiegrafiek Robertson (1990), aangepast voor Nederlandse grondsoorten

Voor een aantal specifieke grondtypen, zoals bijvoorbeeld Potklei, Boomse klei, overgeconsolideerd veen en glauconiethoudend zand is tevens het classificatie gebied aangegeven. Deze stemmen niet direct overeen met de benamingen van gebieden 1 tot en met 9.

De identificatie is indicatief en alleen geldig voor lagen onder de grondwaterstand. De resultaten dienen te worden geverifieerd met boringen of geologische informatie. Uitgedroogde cohesieve toplagen geven een te hoge waarde worden voor het wrijvingsgetal, waardoor bijvoorbeeld uitgedroogde kleilagen mogelijk onterecht worden geïnterpreteerd als veenlagen. Ook is de correlatie voor de toplagen minder betrouwbaar vanwege het lage effectieve spanningsniveau in deze lagen.

Andere conustypen

Naast de meting van conusweerstand en plaatselijke wrijving is het mogelijk extra (combinaties van) metingen uit te voeren. In onderstaand schema zijn enkele mogelijkheden aangegeven. Indien gewenst kan nadere informatie over metingen en toepassingsmogelijkheden worden verschaft.

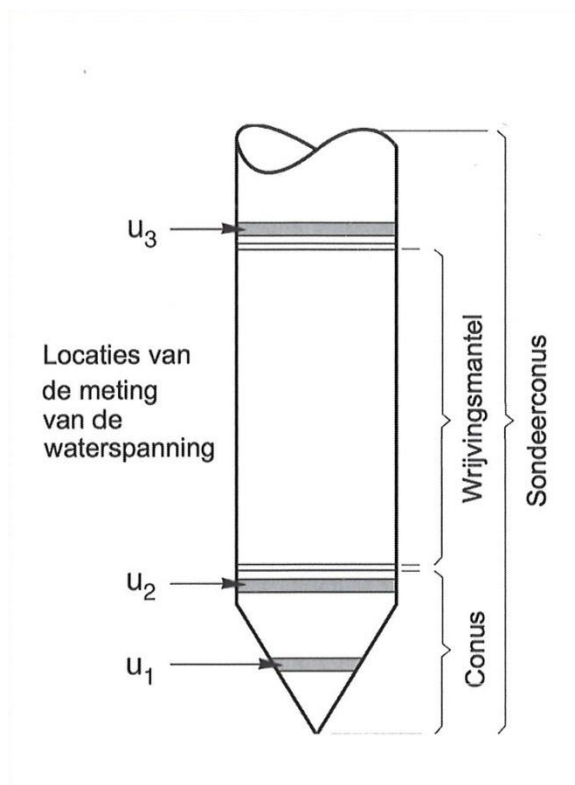
Tabel 2: Overzicht andere conustypen met toepassingsmogelijkheden

Type meting	Meetresultaten	Toepassingsmogelijkheden
Waterspanning	Waterspanning ter plaatse van de punt	■ registreren waterremmende lagen; ■ indicatie stijghoogte grondwater; ■ classificatie / gelaagdheid bodem.
Magnetometer	Magnetische veldsterkte in 3 orthogonale richtingen (X,Y,Z)	■ blindgangeronderzoek; ■ onderzoek ligging obstakels (stalen leidingen, grondankers); ■ onderzoek paalpuntniveau / schoorstand funderingspalen; ■ onderzoek ligging onderzijde stalen damwanden.
Geleidbaarheid	Elektrische geleiding grond en grondwater	■ indicatie waterkwaliteit / zoet - zout water grens; ■ onderzoek verspreiding verontreiniging.
Temperatuur	Temperatuurmeting op verschillende diepten	■ warmteoverdracht in de bodem; ■ bepaling temperatuurgradiënt.
Schuifgolfsnelheid (seismisch)	Dynamische bodemparameters op verschillende diepten	■ machinefunderingen; ■ windturbinefunderingen.
Versnelling	Versnellingen op verschillende diepten	■ heittrillingen; ■ verkeerstrillingen
MIP (Membrane Interface Probe)	Verticale verspreiding van vluchtige (gechloreerde) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (gechloreerde) koolwaterstoffen
ROST (Rapid Optical Screening Tool)	Verticale verspreiding van (aromatische) koolwaterstoffen	■ bestudering zak/drijfslagen en/of verontreinigingen met (aromatische) koolwaterstoffen
HPT (Hydraulic Profiling Tool)	Doorlatendheid	■ niet-stationaire grondwatermodellen ■ ontwerp bemalingen; ■ onderzoek infiltratiecapaciteit (DSI); ■ beoordeling pipinggevoeligheid dijken.

Waterspanningssonderingen

Naast registratie van conusweerstand en plaatselijke wrijvingsweerstand wordt bij een groot deel van de sonderingen waterspanning geregistreerd. Een waterspanningsconus (piëzo-conus) is voorzien van een ingebouwde druksensor, waarmee de waterdruk tijdens het sonderen wordt gemeten.

Een filter voorkomt het contact van grond met de druksensor. De waterdruk kan op drie locaties in de conus worden gemeten waarbij de posities u_1 en u_2 veelvuldig voorkomen (zie figuur 1). Positie u_3 wordt zelden toegepast. Slechts een kleine hoeveelheid water ($0,2 \text{ mm}^3$) is nodig om een nauwkeurige waterdruk te meten. Het meetbereik kan worden gekozen afhankelijk van de te verwachten wateroverspanning. In stijve kleien kan deze oplopen tot meer dan 3 MPa.



Figuur 1: Schematische weergave sondeerconus met meting van waterspanning

Uitvoeringswijze

Om een juiste meting van de waterspanning te verkrijgen, dient het gehele meetsysteem volledig ontvlucht en gevuld te zijn met een weinig samendrukbare vloeistof. Om te voorkomen dat de vloeistof tijdens het sonderen in de onverzadigde lagen boven de grondwaterstand wegvloeit zijn een juiste keuze van vloeistof, het gebruik van een rubber membraam, een goede uitvoering en de poriëngrootte van het filter belangrijk.

Indien het grondwater relatief ondiep aanwezig is, wordt bij voorkeur voorgeboord tot het niveau van de grondwaterspiegel teneinde luchttoetreding te voorkomen. Hiermee wordt ook de kans op beschadiging en in de grond achterblijven van het rubber membraan verkleind.

Interpretatie

De resultaten van de piëzo-sonderingen bestaan uit de gemeten conusweerstand (q_c), de plaatselijke wrijvingsweerstand (f^s), het wrijvingsgetal (R_f), de gemeten waterspanning (u_1 of u_2 respectievelijk in de punt en achter de punt) en de wateroverspanningsindex B_q .

De resultaten van de waterspanningsmeting tijdens het sonderen vormen uit grondmechanisch en geohydrologisch oogpunt een belangrijke extra informatiebron voor de interpretatie van de bodemopbouw. Door combinatie van de meting van de conusweerstand en de waterspanning, bij voorkeur samen met de plaatselijke wrijvingsweerstand, wordt optimaal gebruik gemaakt van de sondeertechniek en kan het benodigde aanvullend grondonderzoek efficiënter worden gepland.

Bij de interpretatie speelt met name de wateroverspanning een rol, dat wil zeggen de verhoging van de waterspanning die door het indrukken van de conus ontstaan is. Dunne cohesieve laagjes in een zandpakket en dunne zandlaagjes in een kleipakket, die in de conusweerstand en de plaatselijke wrijvingsweerstand door uitmiddeling niet of slecht zichtbaar zijn, kunnen goed worden gedetecteerd aan de hand van de water(over)spanningen, die door het sonderen ontstaan. Deze laagjes kunnen van groot belang zijn voor het zettingsgedrag van funderingen en voor de verticale (on)doorlatendheid van de grond.

Verder kunnen met de piëzo-conus, met name via de u_1 -meting, sterk gelaagde structuren van zand en klei onderscheiden worden van homogene lagen hetgeen op basis van conusweerstand en plaatselijke wrijving in de meeste gevallen niet lukt. Aangetoond is dat het detectievermogen van de u_1 -meting veel hoger is dan van de u_2 -meting.

Wateroverspanningsindex B_q

Met de wateroverspanningsindex B_q kan een meer nauwkeurige classificatie van de grondsoort worden verkregen. Deze index is de verhouding van de wateroverspanning en de netto conusweerstand q_{net} , zijnde de gemeten conusweerstand q_c gecorrigeerd voor de waterspanning op het netto oppervlak van de sondeerconus, rekening houdend met de heersende effectieve verticale spanning op het betreffende niveau. De wateroverspanningsindex B_q wordt als volgt berekend:

$$B_q = \frac{\beta \cdot (u_1 - u_o)}{q_{net}}$$

Vergelijking 3

$$Bq = \frac{(u_2 - u_o)}{q_{net}}$$

Vergelijking 4

Waarin:

- β = factor voor de verschillende grondsoorten voor omrekening van u_1 naar u_2 . Standaard wordt hiervoor aangehouden 0,8, zijnde normaal geconsolideerde kleien (zie hierna volgende tabel);
- q_{net} = $q_t - \sigma_{v0}$ = netto conusweerstand
- q_t = $q_c + (1 - a) \cdot \{\beta(u_1 - u_o) + u_o\}$ voor een filter in de conuspunt
- = $q_c + (1 - a) \cdot u_2$ voor een filter direct achter de conuspunt
- σ_{v0} = de verticale grondspanning; standaard wordt hierbij uitgegaan van een gemiddeld volumiek gewicht van de bodemlagen van 14 kN/m³ en een grondwaterstand op 1 m beneden maaiveld;
- a = netto oppervlakteverhoudingscoëfficiënt van de conus i.v.m. de spleet achter de conuspunt;
- u_1 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing in de punt;
- u_2 = de gemeten waterdruk bij een filterplaatsing achter de punt;
- u_o = de hydrostatische stijghoogte; standaard wordt hiervoor in de berekening een niveau uitgegaan van 1 m beneden maaiveld.

Voor andere grondsoorten zijn de β -factoren in tabel 3 gegeven.

Tabel 3: β -factor per grondsoort

Grondgedrag	β -factor
Normaal geconsolideerde klei	0,6 – 0,8
Licht overgeconsolideerde klei	0,5 – 0,7
Sterk overgeconsolideerde klei	0,0* – 0,3
Silt, samendrukbaar	0,5 – 0,6
Silt, vast en dilatant gedrag	0,0* – 0,2
Zand, siltig, los gepakt	0,2 – 0,4
Opmerking: * = Bij meting van de waterspanning achter de conuspunt worden in bepaalde gevallen negatieve waterspanningen gemeten. Deze waarden geven nauwelijks een indicatie van de doorlatendheid, doch alleen over het materiaalgedrag.	

Dissipatietest

Het is ook mogelijk het sondeerproces op een bepaalde diepte tijdelijk te stoppen en de afname van de wateroverspanning (dissipatie) als functie van de tijd te registreren. Daarna kan het sondeerproces worden voortgezet.

In doorlatende gronden geeft de dissipatietest een goed beeld van de heersende hydrostatische waterspanning en daarmee van de stijghoogte. Het betreft slechts een indicatie aangezien de meetnauwkeurigheid beperkt is. Door het uitvoeren van meerdere metingen in een grondlaag en de gemiddelde waarde van de stijghoogte te bepalen kan een beduidend hogere nauwkeurigheid worden behaald. Ervaring leert dat de onnauwkeurigheid circa 0,5 m bedraagt. Voor een meer nauwkeurige bepaling en de optredende fluctuaties zijn peilbuismetingen over een langere waarnemingsperiode nodig, afhankelijk van het doel.

In slecht doorlatende, cohesieve lagen kan met behulp van de dissipatietest een indicatie van de consolidatiecoëfficiënt en daarmee van de verticale (on)doorlatendheid worden verkregen. Hierbij dient de dissipatietest te worden voortgezet totdat de wateroverspanning tenminste met 50 % is afgenomen. In de praktijk komt dat in klei overeen met circa 1/2 uur. Uit berekeningen en kwalitatieve vergelijking van de metingen wordt inzicht verkregen in het consolidatiegedrag van de grond. Voor het vaststellen van de heersende hydrostatische waterspanning in kleilagen is de dissipatietest in de meeste gevallen weinig geschikt, vanwege de benodigde lange aanpassingstijd en de onnauwkeurigheid.

Klassenindeling EN-ISO 22476-1

Voorafgaand aan de uitvoering diende een keuze te worden gemaakt binnen welke kwaliteitsklasse met bijbehorende toelaatbare meetonzekerheid het werk minimaal uitgevoerd moet worden. De klassenindeling heeft voornamelijk betrekking op de nauwkeurigheid van de gemeten parameters.

Door invoering van de Eurocode is op Europees niveau de internationale sondeernorm *EN-ISO 22476-1 'Electrical cone and piezocone testing'* ontwikkeld. In de norm *EN-ISO 22476-1* is de nauwkeurigheid van de meetresultaten gekoppeld aan het toepassingsgebied met bijbehorend bodemkenmerken / geschiktheid voor interpretatie en afleiding van bodemparameters. Verder is de meting van de waterspanning genormeerd. In de Europese tabel van sondeerclassen worden de sondeerclassen ingedeeld naar de toepassing van de sondering, zie tabel 4.

Tabel 4: Overzicht toepassingsklassen *EN-ISO 22476-1*

Toepassing-klasse	Test type	Gemeten parameter	Toegestane minimum nauwkeurigheid ^a	Maximum lengte tussen metingen	Gebruik	
					Grondsoort	Interpretatie
1	TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	35 kPa of 5 % 5 kPa of 10 % 10kPa of 2 % 2° 0,1 m of 1%	20 mm	A	G,H
2	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ■ Helling ■ Sondeerlengte	100 kPa of 5 % 15 kPa of 15 % 25 kPa of 3 % 2° 0,1 m of 1 %	20 mm	A B C D	G, H* G, H G, H G, H
3	TE1 TE2	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Waterspanning ^d ■ Helling ■ Sondeerlengte	200 kPa of 5 % 25 kPa of 15 % 50 kPa of 5 % 5° 0,2 m of 2 %	50 mm	A B C D	G G, H* G, H G, H
4	TE1	■ Conusweerstand ■ Mantelwrijving ■ Sondeerlengte	500 kPa of 5 % 50 kPa of 20 % 0,2 m of 1 %	50 mm	A B C D	G* G* G* G*

Opmerking:

Uiterst slappe gronden maken soms nog hogere nauwkeurigheden noodzakelijk.

- a De toegestane minimum nauwkeurigheid van de gemeten parameters is de grootste van de twee genoemde. De relatieve nauwkeurigheid geldt voor de gemeten waarde en niet voor het meetbereik.
- b Volgens ISO 14688-2:
- A homogene gronden bestaande uit zeer slappe tot stijve kleien (en silt) (typische gronden met $q_c < 3$ MPa);
 - B gemengde bodemprofielen met slappe tot stijve kleien ($q_c \leq 3$ MPa) en matig vaste tot vaste zanden (conusweerstand 5 MPa • $q_c < 10$ MPa);
 - C gemengde bodemprofielen met stijve kleien (conusweerstand 1,5 MPa • $q_c < 3$ MPa) en zeer dichte zanden ($q_c > 20$ MPa);
 - D zeer stijve tot harde kleien ($q_c \geq 3$ MPa) en zeer vaste grove gronden ($q_c \geq 20$ MPa).
- c G Vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een laag niveau van onzekerheid.
 G* Indicatieve vaststelling bodemprofiel en bepaling van grondsoort met een hoog niveau van onzekerheid.
 H Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een laag niveau van onzekerheid.
 H* Interpretatie met betrekking tot ontwerp met een hoog niveau van onzekerheid.
- d Waterspanning kan alleen worden gemeten als TE2 wordt toegepast.

Voor projecten, waarbij parameters op basis van Tabel 2.b uit *NEN 9997-1* worden afgeleid, is een hoge nauwkeurigheidsklasse gewenst. Het is echter in een bodemgesteldheid met zowel zeer slappe grondlagen als zeer vaste zandlagen met hoge conusweerstand niet realistisch om aan de eisen van toepassing klasse 1 voldoen zoals ook blijkt uit de bovenstaande tabel. Het bij Fugro gehanteerde meetsysteem voor sonderen is bijzonder nauwkeurig door toepassing van digitale conussen, strikte kwaliteitscontroles en kalibraties. In de praktijk is gebleken dat standaard Fugro sonderingen in de nieuwe norm voor het overgrote deel (>95%) in toepassingsklasse 2 vallen.

Voor sondering in toepassingklasse 1 worden speciale gevoelige conussen met een beperkt meetbereik toegepast. De enige praktische indicatie over de bereikte sondeerklasse is controle van recente kalibraties en 0-puntsverlopen tussen het begin en eind van de sondering.

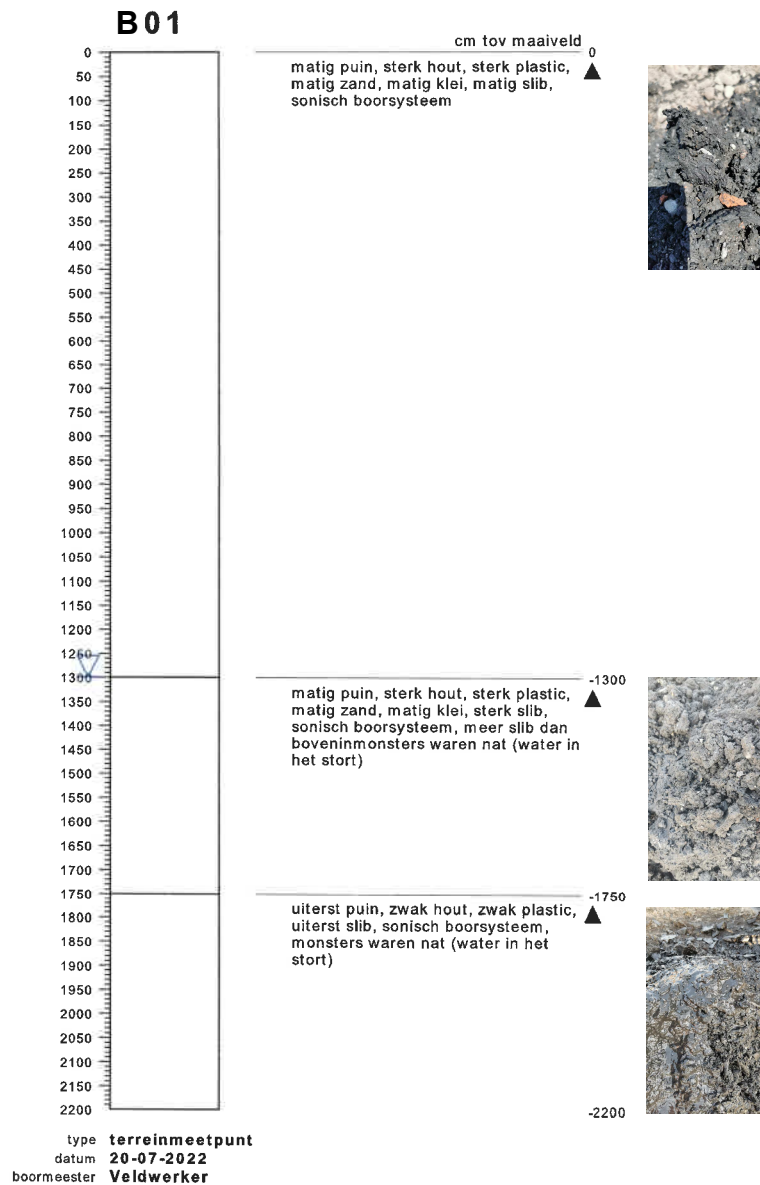
In de praktijk komt het af en toe voor dat sonderingen worden uitgevoerd, waarbij door de opdrachtgever is aangegeven dat de maaiveldhoogte niet ten opzichte van een vast referentiepeil (NAP) hoeft te worden vastgelegd. Deze sonderingen voldoen derhalve op dit punt niet aan *EN-ISO 22476-1*.

6. Legenda terreinproeven

Legenda terreinproeven

Boringen / Peilbuizen		Sonderingen	
	Handboring nog niet uitgevoerd		Sondering met plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd		Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 1 peilbuis		Sondering zonder plaatselijke kleefmeting nog niet uitgevoerd
	Handboring uitgevoerd met 2 peilbuizen		Sondering zonder plaatselijke kleefmeting uitgevoerd
	Mechanische boring nog niet uitgevoerd		Slagsondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd		Handsondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 1 peilbuis		Multigrondwatersondering nog niet uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 2 peilbuizen		Multigrondwatersondering uitgevoerd
	Mechanische boring uitgevoerd met 3 peilbuizen		Sondering met bolconus nog niet uitgevoerd
	Boring uitgevoerd door derden		Sondering met bolconus uitgevoerd
	Boring uitgevoerd met peilbuis door derden		Waterspanningsmeter nog niet uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) nog niet uitgevoerd		Waterspanningsmeter uitgevoerd
	Gedrukte peilbuis (PB) / minifilter (MF) uitgevoerd		Sondering uitgevoerd door derden
Overige symbolen			Sondering met plaatselijke kleefmeting uitgevoerd door derden
	Meetpunt		Hellingmeterbuis nog niet uitgevoerd
	Hoogtemaat		Hellingmeterbuis uitgevoerd
Type sonderingen		Toegevoegde metingen	
D	Diepsondering	KM	Meting van de plaatselijke kleef
HS	Handsondering	P	Meting van de waterspanning
S	Slagsondering	M	Meting van de magnetische veldsterkte
		G	Meting van de geleidbaarheid
		S	Meting van de schuifgolfsnelheid (seismische meting)
		T	Meting van de temperatuur

Bijlage: Boorstaat B01 (GroundResearch)



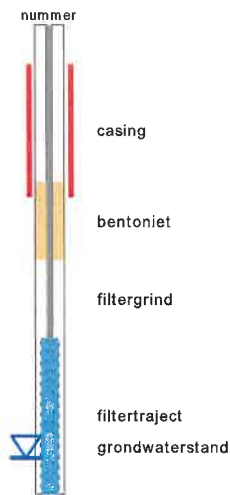
bodemprofielen **schaal 1:150**

onderzoek **fugro stortplaats alkmaar sortiva**
projectcode **18-07-2022**
getekend conform **NEN 5104**

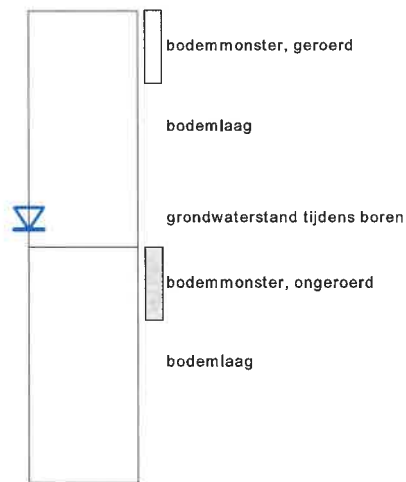




PEILBUIS



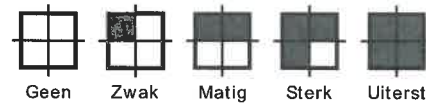
BORING



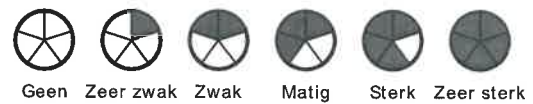
GRONDSOORTEN



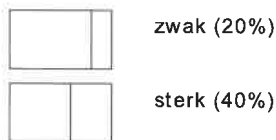
OLIE OP WATER REACTIE



GEUR INTENSITEIT



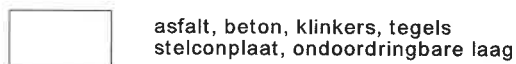
MATE VAN BIJMENGING



GRADATIE ZAND

grof (0,63-2mm)
middelgrof (0,2-0,63mm)
fijn (0,063-0,2 mm)

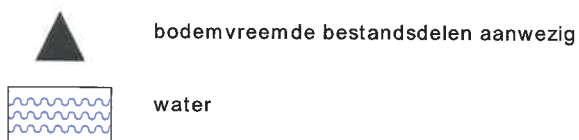
VERHARDINGEN



GRADATIE GRIND

f = fijn (2-5.6 mm)
mg = matig grof (5.6-16 mm)
zg = zeer grof (16-63 mm)

OVERIG



BESCHRIJVING BODEMLAAG

pid = foto ionisatie detector
bv = bodemvocht
ow = olie op water
tb = tertiaire bestanddelen
di = disperse inhomogeniteit
cf = consistentie fijn

diepte aanduidingen links op de y-as zijn in cm onder maaiveld
diepte aanduidingen rechts van het profiel zijn in cm boven NAP

Bijlage 2

Resulaten seismisch onderzoek

Rapportage Fugro



Downhole seismisch onderzoek deponie Sortiva te Alkmaar

Definitief

2422-212542 | 22 August 2022

Royal Haskoning DHV

Documentbeheer

Document informatie

Titel van het project	Downhole seismisch onderzoek deponie Sortiva te Alkmaar
Titel van document	Downhole seismisch onderzoek deponie Sortiva te Alkmaar
Fugro Project Nr.	2422-212542
Fugro Document Nr.	2422-212542
Nummer van uitgifte	01
Status van het probleem	Finaal

Klant informatie

Klant	Royal Haskoning DHV
Klantadres	Postbus 1132, 3800 BC, Amersfoort
Klantcontact	J. Cools
Client document nr.	[Client Document No.]

Revisiegeschiedenis

Uitgeven	Datum	Status	Opmerkingen	Voorbereid door	Gecontroleerd door	Goedgekeurd door
01	22 August 2022	Definitief		CHA/ SSO	SNE	SSO/ SNE

Projectteam

Initialen	Naam	Rol
SNE	Serkan Nuri Elgun	Senior Adviseur Geofysica (PL)
SSO	Stéphane Sol	Manager Geofysica (Fugro Frankrijk)
CHA	Clément Hassini	Geofysicus
TD	Thomas Djuly	Geofysicus

Inhoudsopgave

Documentbeheer	i
Document informatie	i
Klant informatie	i
Revisiegeschiedenis	i
Projectteam	i
Inhoudsopgave	ii
1. Introductie	3
1.1 Algemene context en doelstellingen	3
1.2 Kwaliteitsbetrokkenheid	3
1.3 Beschrijving en locatie van de site	3
2. Uitvoering down hole seismische metingen	5
3. Downhole Seismische metingen	7
3.1 Theorie	7
3.2 Apparatuur en onderzoeksmethodologie	8
3.3 Data Verwerking	9
3.3.1 Data verwerkingsstappen	9
3.3.2 Kwaliteit van data en picking	12
3.4 Resultaten van de down hole seismische metingen	13
3.4.1 Resultaten van B01/ B02	14
3.4.2 Resultaten van B03	16
3.4.3 Algemene opmerkingen over de resultaten	18

1. Introductie

1.1 Algemene context en doelstellingen

Fugro heeft in opdracht van Royal Haskoning DHV Nederland B.V. op deponie Sortiva te Alkmaar een downhole seismisch onderzoek uitgevoerd in twee boorgaten. Deze methode maakt het mogelijk om de P- en S-golfsnelheden bij elk onderzocht boorgat te bepalen.

Dit rapport beschrijft de procedures die worden gebruikt om het geofysisch onderzoek uit te voeren, evenals de verwerking en de resultaten van de geofysische data.

1.2 Kwaliteitsbetrokkenheid



Fugro is actief lid van de AGAP-kwaliteitsvereniging die als doel heeft de kwaliteit in de geofysica te verbeteren.

In dit verband verbindt Fugro zich ertoe alle aanbevelingen in de code van goede praktijken in de geofysica te respecteren.

Fugro is ook ISO 9001:2014 en OHSAS 18001:2007 gecertificeerd.

1.3 Beschrijving en locatie van de site

Het terrein is gelokaliseerd in de buurt van Alkmaar in Nederland. De onderstaande Figuur 1-11-1 laat de globale locatie zien van de onderzoekslocatie.



Figuur 1-1: Onderzoekslocatie Sortiva Alkmaar.

2. Uitvoering down hole seismische metingen

De down hole seismische metingen zijn uitgevoerd op 27 en 28 juli 2022. Deze periode omvat niet de voorbereiding van equipment en mobilisatie/demobilisatie van personeel en equipment.

De oorspronkelijke scope van het geofysisch onderzoek vroeg om de hoeveelheid als volgt:

- Down hole seismische metingen in twee boorgaten,
- Deviation metingen.

De coördinaten en de diepte van de gemeten boorgaten zijn weergegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1: De coördinaten van de uitgevoerde down hole seismische testen

Naam boorgat	Coördinaten in m (in RD)			Diepte [m -MV]
	X [m]	Y [m]	Z [m t.o.v. NAP]	
B01/ B02	112202.80	512570.00	26.38	21.00
B03	112193.00	512565.20	26.32	21.45

De onderstaande foto's laten de uitvoering van de seismische down hole metingen zien.



Foto 2.1: Foto van de uitvoering down hole seismisch onderzoek Sortiva, Alkmaar.



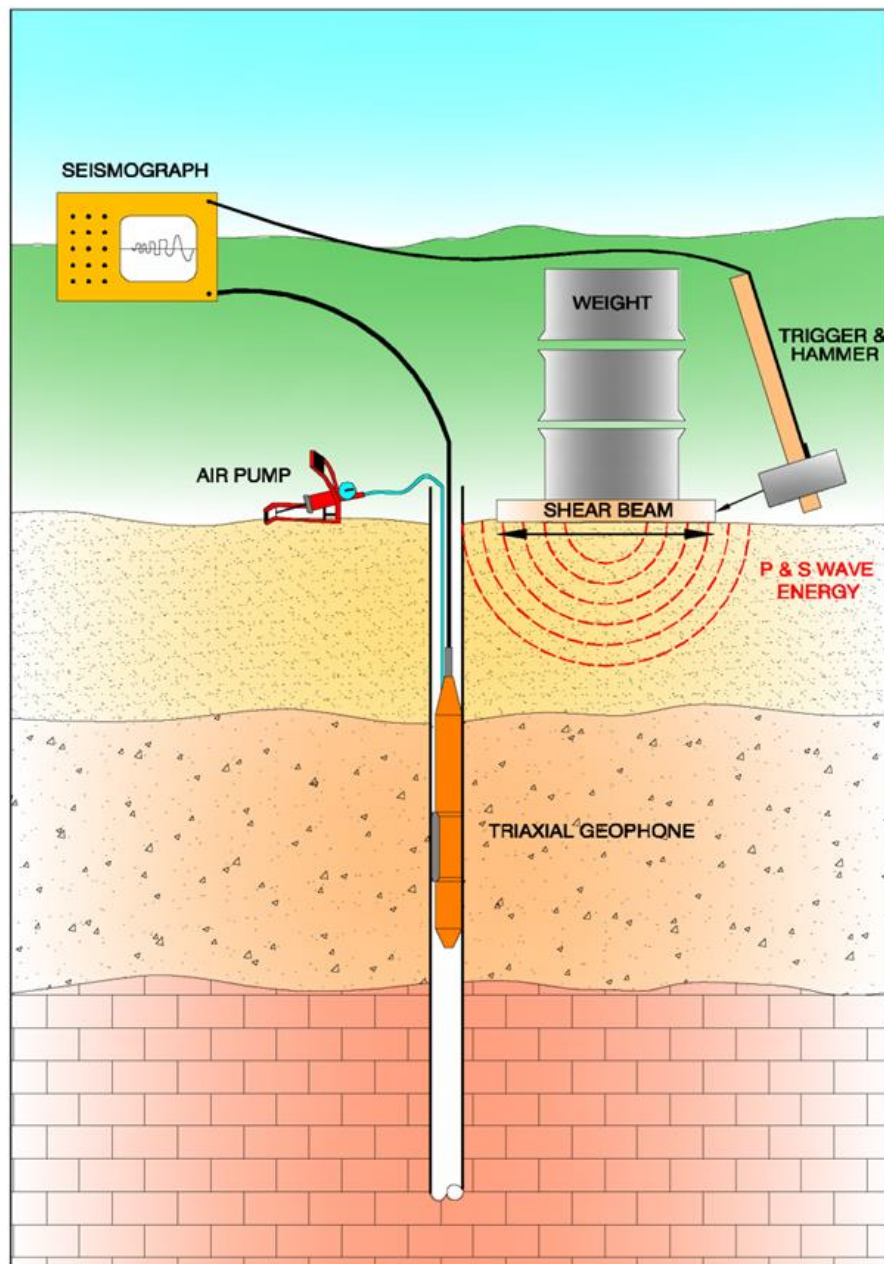
Foto 2.2: Foto van de uitvoering down hole seismisch onderzoek Sortiva, Alkmaar.

Ten behoeven van de uitvoering van de down hole seismische metingen zijn er op twee locaties (B01/ B02 en B03) allereerst twee sonische boringen uitgevoerd tot circa 21m-MV. Na de uitvoering van de boringen is er een PVC-buis in de boorgaten geplaatst en voor een goed contact tussen de PVC-buis en de omliggende grond is een bentoniet-klei solutie tussen de PVC-buis en het boorgat gepompt.

3. Downhole Seismische metingen

3.1 Theorie

Het principe achter alle seismische technieken is dat wanneer een spanning wordt toegepast op een elastisch medium, er omstandigheden worden gecreëerd voor de bijbehorende "strain" om zich voort te planten als druk- of transversale elastische golven in dat materiaal. Door een elastische golf op een punt te initiëren en de aankomsttijd van de golf op het tweede punt te meten, is het mogelijk om ondergrondse seismische snelheidsvariaties te bepalen.



Figuur 3.1: Schematische illustratie van seismische P & S-golfmetingen in het boorgat

De down-hole seismisch test wordt in een enkel boorgat uitgevoerd. De seismische energie wordt gegenereerd aan het oppervlak op een vaste afstand van het boorgat. In het boorgat wordt een ontvanger (geofoon) ingezet. Door de positie van de geofoon in het boorgat te variëren en de aankomsttijden te meten, is het mogelijk om een verticaal snelheidsprofiel van de ondergrond te meten. Een schematische illustratie van de techniek is weergegeven in Figuur 3.1.

Een typische oppervlaktebron bestaat uit een voorhamer en een schuifbalk. De 'schuifbalk' wordt verzwaaard met een geschikte massa (meestal een voertuig afhankelijk van de toegang). De voorhamer wordt vervolgens gebruikt om zowel compressiegolven (P-golf) als schuifgolven (S-golf) te genereren door de balk verticaal naar beneden en horizontaal aan te slaan voor respectievelijk de P- en S-golven. Opgemerkt moet worden dat de schuifgolf die tijdens dit onderzoek wordt gegenereerd horizontaal gepolariseerd is en zich zowel horizontaal als verticaal voortplant.

De term 'horizontaal gepolariseerd' beschrijft een ontbinding van de schuifgolfbeweging. Een echte seismische bron zal zowel SV- als SH-bewegingen produceren, tenzij de bronpolarisatiehoek (gedefinieerd als de hoek tussen de SV-vector en de resultante van de SV- en SH-vectoren) nul is om pure SV-beweging te produceren of $\pi/2$ radialen om pure SH-beweging te produceren.

In de praktijk produceert de bron een component van schuifgolfenergie die als orthogonaal kan worden beschouwd voor de primaire polarisatie-richting, d.w.z. dat geen enkele seismische bron in staat is om deeltjesbewegingen te produceren die beperkt zijn tot uitsluitend verticale of horizontale vlakken. Bovendien is het onwaarschijnlijk dat ontvangende geofoons meetassen hebben die precies samen met de dominante polarisatie-richtingen liggen en een mate van off-axis deeltjesbeweging kunnen meten. Een combinatie van bron- en ontvanger polarisatie kan echter effectief schuifgolfenergie in het vereiste vlak isoleren.

Bepaling van de reistijd voor P- en S-golfenergie op elke diepte kan worden gebruikt om de snelheid te berekenen, hetzij als een gemiddelde van grondoppervlak tot de diepte of als een intervalsnelheid tussen twee vaste offset-ontvangers.

3.2 Apparatuur en onderzoeksmethodologie

In twee boorgaten zijn down hole seismische metingen uitgevoerd met een totale lengte van 42,45 m.

Het veldwerk is uitgevoerd met behulp van een Geometrics Geode-acquisitie systeem. De belangrijkste acquisitie parameters die voor deze meting zijn gedefinieerd, zijn samengevat in Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Downhole seismische acquisitie parameters / apparatuur

Parameter	Beschrijving
Acquisitie systeem	Geometrische Geode
Geofoon(s)	Geotomografie BGK7
Meetassen	7 per geofoon (1 x V, 6 x H)
Meet interval	1 meter
Record lengte	341 ms
Sample interval	20,8 μ s
Afstand tussen de bron en het boorgat	3 meter

Voorafgaand aan de start van de data-acquisitie zijn een aantal kwaliteitscontroles uitgevoerd om de functie van de apparatuur en de kenmerken van de locatie te beoordelen en de parameters voor data verzameling te verfijnen.

De seismische bron is in twee tegengestelde richtingen (links en rechts) aangeslagen om een gepolariseerde schuifgolf (S-golf) aankomsten te produceren in tegengestelde richtingen.

De seismische bron is ook in verticale richting aangeslagen om een verticaal voortplantende compressie golf (P-golf) te genereren.

Een geofoon array is in het boorgat gehangen. De geofoons werden op elke testdiepte pneumatisch geklemd om een nauwe koppeling met de behuizingswand te garanderen. De geofoons bestaan uit 6 horizontale componenten en één verticale component.

Elke meting is verkregen door opeenvolgende opnamen die werden geregistreerd om de signaal-ruisverhouding te verbeteren. De data is voortdurend beoordeeld naarmate de acquisitie vorderde en de parameters zijn waar nodig aangepast door de geofysicus. Wanneer shotrecords zijn geacht een slechte signaal-ruisverhouding te hebben, zijn aanvullende records verkregen om de interpretatie te vergemakkelijken.

Data is digitaal opgeslagen op een speciale veld-pc in SEG2-formaat om op het kantoor gebaseerde nabewerking mogelijk te maken.

3.3 Data Verwerking

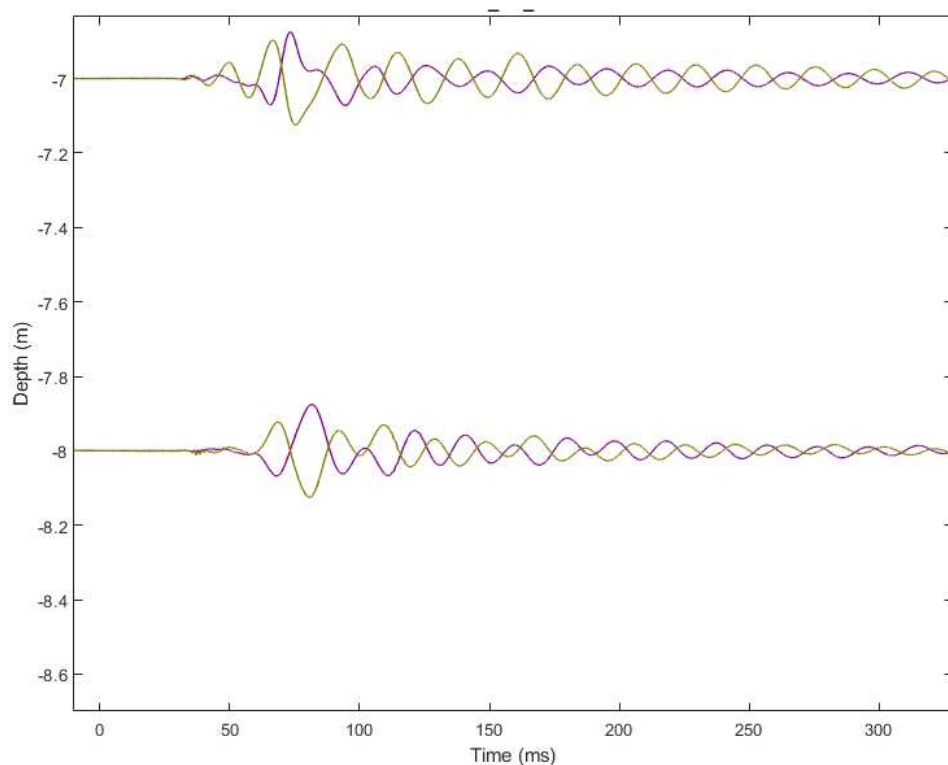
3.3.1 Data verwerkingsstappen

De aankomsttijden van de P- en S-golven worden op elke diepte bepaald met behulp van DUXH_Check Fugro-software en Seislmager.

De individuele opnamerecords zijn geopend in DUXH_Check, een Pointe® Software die door Fugro is ontwikkeld.

Er is een eerste beoordeling van kanaal/geometrie uitgevoerd. Shotrecords van 'linker' en 'rechter' bron activatie zijn vervolgens over elkaar geplaatst, zodat de eerst aankomende schuifgolf kan worden geïdentificeerd door karakteristieke schuifgolfpolarisatie.

Een voorbeeld van een typisch gecombineerd opnamerecord (linker- en rechteropnamen) is te zien in onderstaande figuur 3.2.



Figuur 3.2: Voorbeeld gecombineerd schuifgolf data uit downhole seismisch meting

Het hierboven weergegeven voorbeeld van gepolariseerde schuifgolf (Figuur 3.2) toont links en rechts slagen, opgenomen met de downhole seismische ontvangers gepositioneerd op 7 m -MV en 8 m -MV. De S-golfenergie is te herkennen aan de polariteitsomkering bij ongeveer 60 ms.

P- en S-golven tijdsontbrekingen zijn vervolgens op elke diepte van de ontvanger in het boorgat (elke meter) bepaald. De data is vervolgens omgekeerd via een genetisch algoritme met Fugro's eigen software DUInv.

Een voorbeeld van een volledige diepte dataregistratie (shotverzameling) is weergegeven in onderstaande Figuur 3.3. De x-as staat voor de reistijd (ms) en de y-as staat voor de diepte (m -MV).

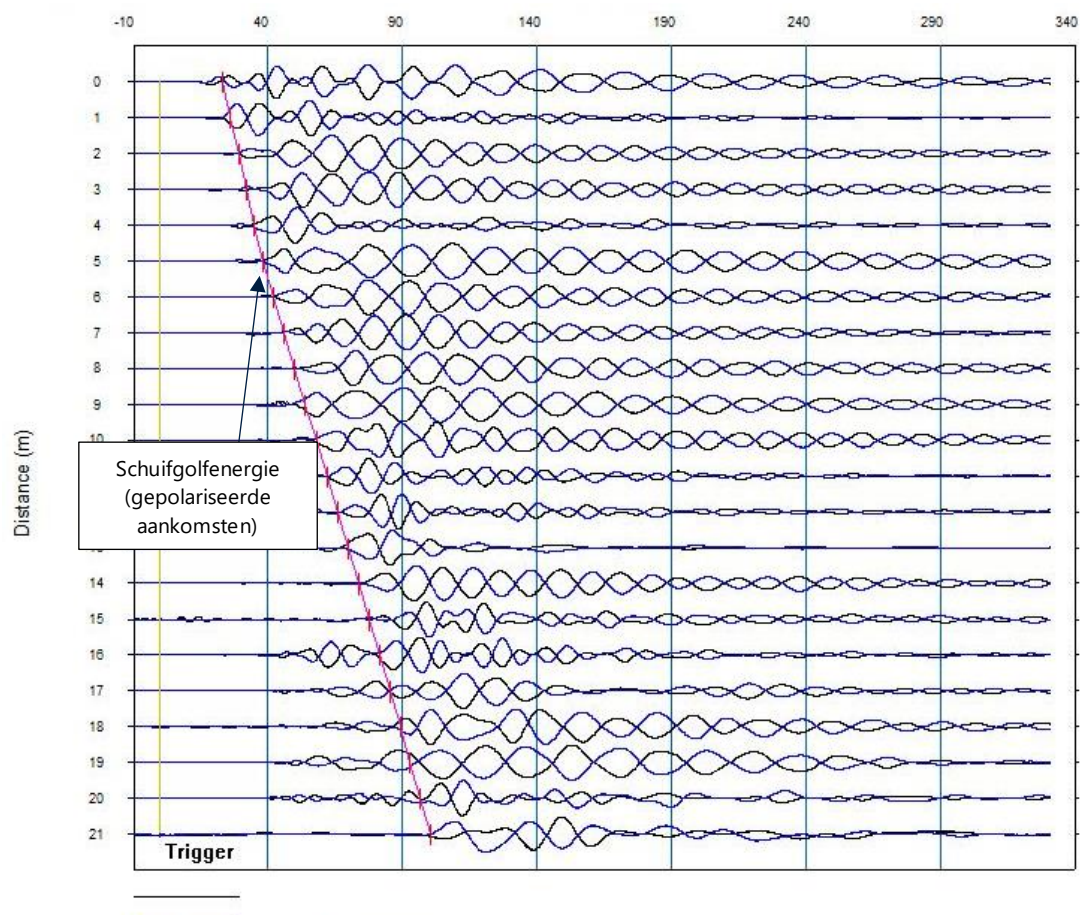
De volledige data is gebruikt om de aankomsttijden visueel te kiezen voor schuifgolfenergie. Let op de karakteristieke polarisatie van schuifgolfenergie op elk diepteniveau. Deze karakteristieke polarisatiecriteria zijn gebruikt om invallende S-golfenergie te identificeren. Indicatieve bepaling van de aankomsttijden voor het onderstaande voorbeeldshotrecord zijn

aangegeven met een magento gekleurde lijn. Tijdkeuzes zijn vervolgens geëxporteerd als tekstgegevens voor de berekening en de presentatie.

Wanneer de signaalkarakteristieken niet voldoende waren om invallende P- of S-golfenergie volgens de hierboven beschreven protocollen te kunnen herkennen, werden de gegevens afgewezen en werd er geen snelheid berekend.

Volledige tijdkeuzerecords voor alle diepten zijn uitgezet als tijd-afstand (t-x) grafieken voor zowel P- als S-golfaankomsten, waarbij 'afstand' de directe voortplanting pad lengte was voor elke respectieve bron-ontvanger opname.

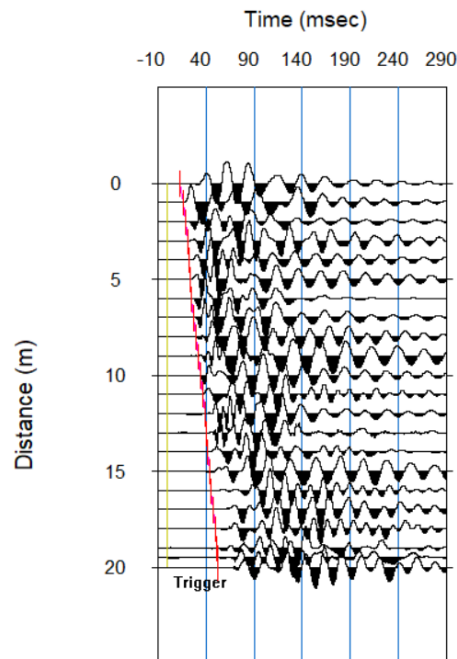
De directe voortplanting pad-afstanden zijn een functie van de diepte van de ontvanger en de horizontale offset tot de oppervlaktebron. De offset van de oppervlaktebron is ter plaatse gemeten, waardoor de directe voortplanting pad-afstanden konden worden berekend. Daar waar nodig werden directe voortplanting pad afstanden omgezet in werkelijke diepten ten opzichte van de bovenkant van het boorgat en geannoteerd op grafieken en tabellen in dit rapport.



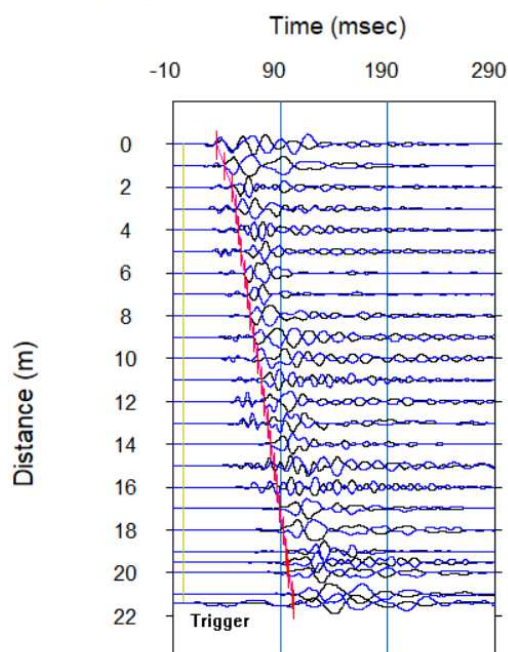
Figuur 3.3: Voorbeeld van schuifgolf (S-golf) aankomsttijden geregistreerd op elke ontvanger diepte van boorgat B01/ B02.

3.3.2 Kwaliteit van data en picking

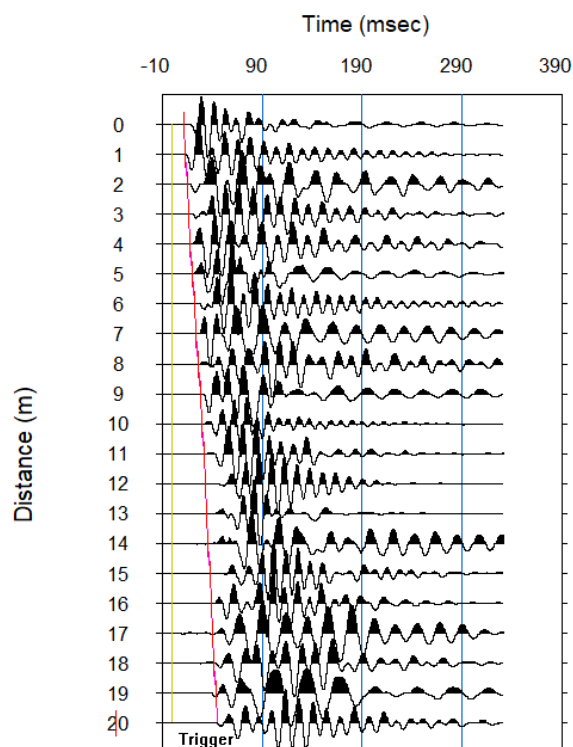
De seismische data bij boorgaten B01/ B02 en B03 zijn weergegeven in figuur 3.3 en de onderstaande drie figuren tonen de aankomsttijden van de compressie- en schuifgolven die op de verschillende geofoondieptes zijn geregistreerd. De aankomsttijden zijn gekozen op de verticale component voor de compressiebron en op de horizontale componenten voor de schuifgolfbron.



Figuur 3.4: Eerste aankomsttijden van compressiegolf (P-golf) langs de seismische signalen geregistreerd op elke ontvanger diepte van boorgat B03.



Figuur 3.5: Eertse aankomsttijden van schuifgolf (S-golf) langs de seismische signalen geregistreerd op elke ontvanger diepte van boorgat B03.



Figuur 3.6: Eerste aankomsttijden van compressiegolf (S-golf) langs de seismische signalen geregistreerd op elke ontvanger diepte van Borehole B01/ B02.

Tabel 3.1: Samenvatting van de kwaliteit en verwerking van gegevens.

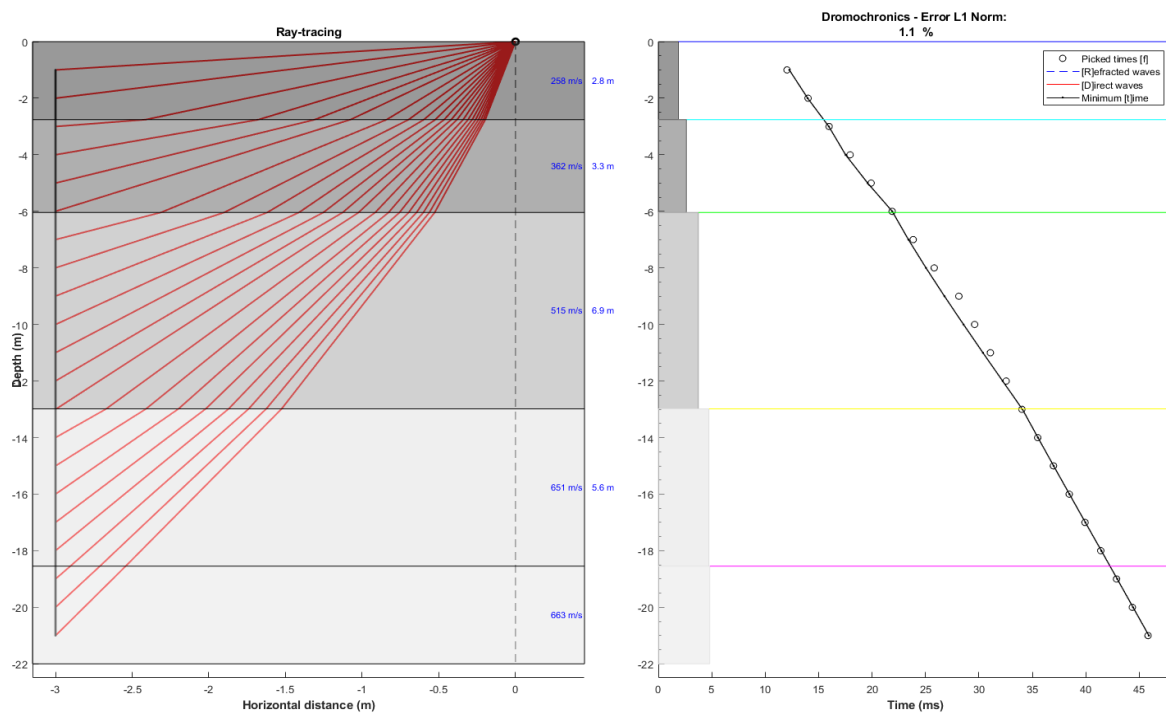
Check shot	Ruwe seismische data kwaliteit	Kwaliteit van het bepalen van de eerste aankomsttijden
B01/ B02	Goed	Goed behalve dan tussen 0m en 1m -MV. Een beetje ruis tussen 16m en 19m -MV.
B03	Goed	Goed behalve tussen 0m en 1m -MV

3.4 Resultaten van de down hole seismische metingen

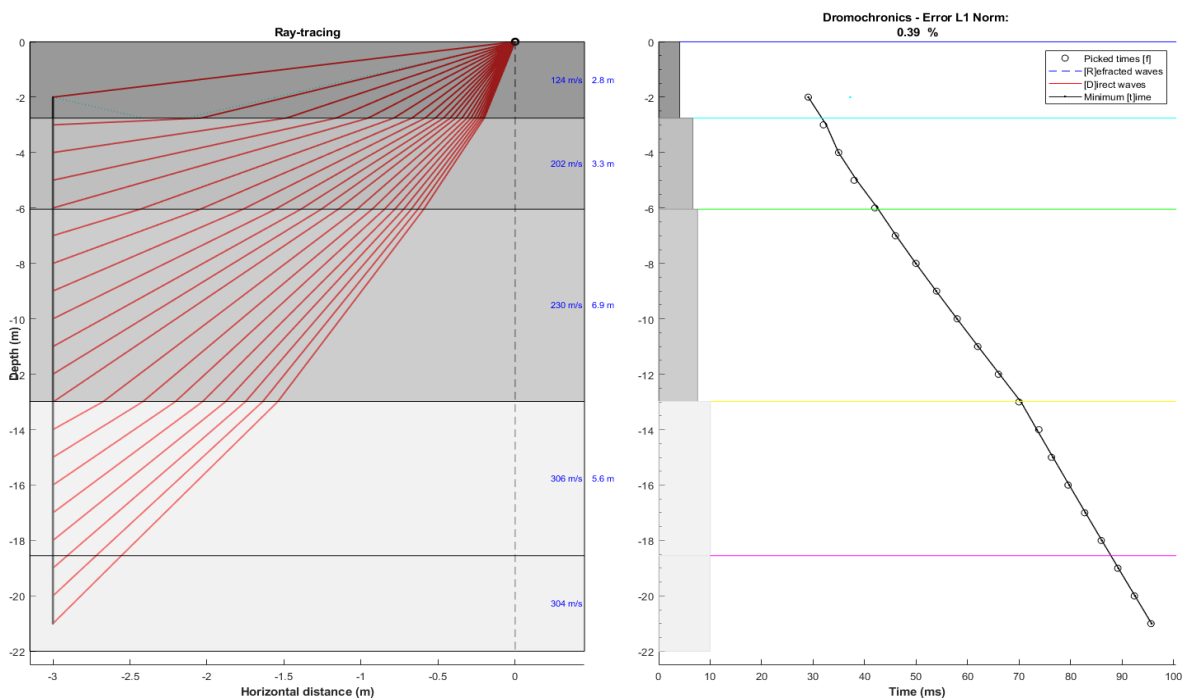
De resultaten van de downhole seismische metingen worden als volgt gepresenteerd:

- Het bepalen van de eerste aankomsttijden (P en S) ;
- Figuren met de voortplantingspaden voor elke diepte en het kiezen van de P-golf en S-golf met de superpositie van de reistijd die uit de inversie voortvloeit;
- Figuren met de Vp - en Vs-profielen berekend door inversie en de bijbehorende reistijdcurven;
- Tabellen met de minimale, maximale waarden en het beste model van P - en S-snelheden berekend door inversie.

3.4.1 Resultaten van B01/ B02

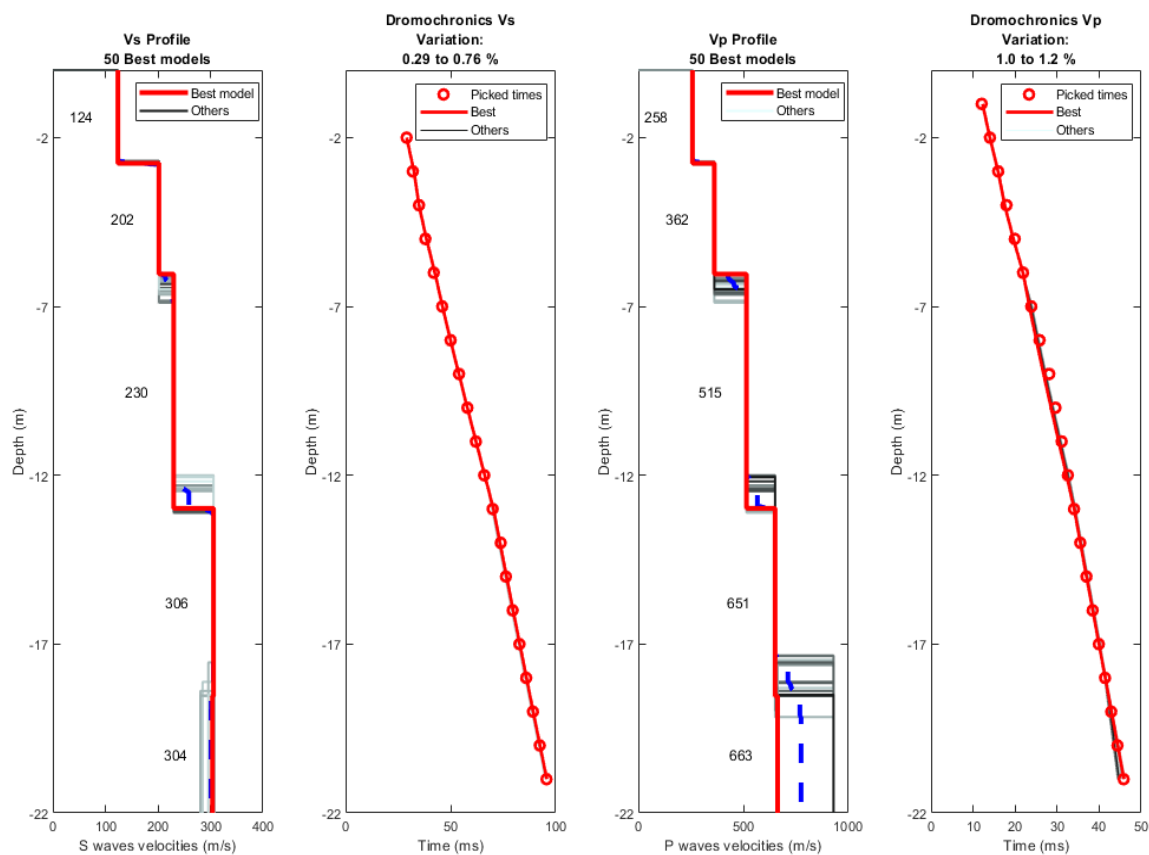


Figuur 3.7 : Links : Voortplanting paden. Rechts : Het bepalen van de P-golf voor B01/ B02. De aankomsttijden worden gesuperponeerd op de berekende tijd die wordt uitgegeven door de inversie.



Figuur 3.8 : Links : Voortplanting paden. Rechts : Het bepalen van de S-golf voor B01/ B02. De aankomsttijden worden gesuperponeerd op de berekende tijd die wordt uitgegeven door de inversie.

De eindresultaten van de downhole-metingen voor B01/ B02 zijn weergegeven in figuur 3.9 en in tabel 3.3.

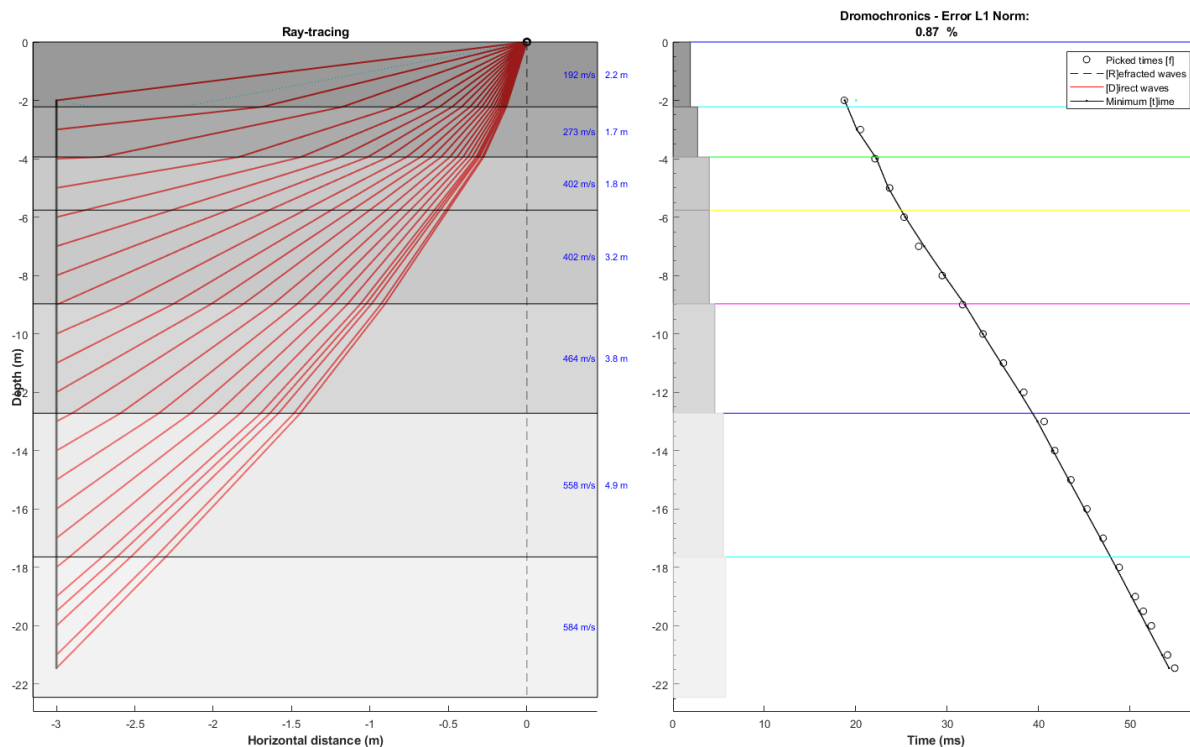


Figuur 3.9 : Weergave van de 50 beste modellen verkregen met van links naar rechts de Vs profielen, de tijdcurves van de S golf, de Vp profielen en de tijdcurves van de P golf

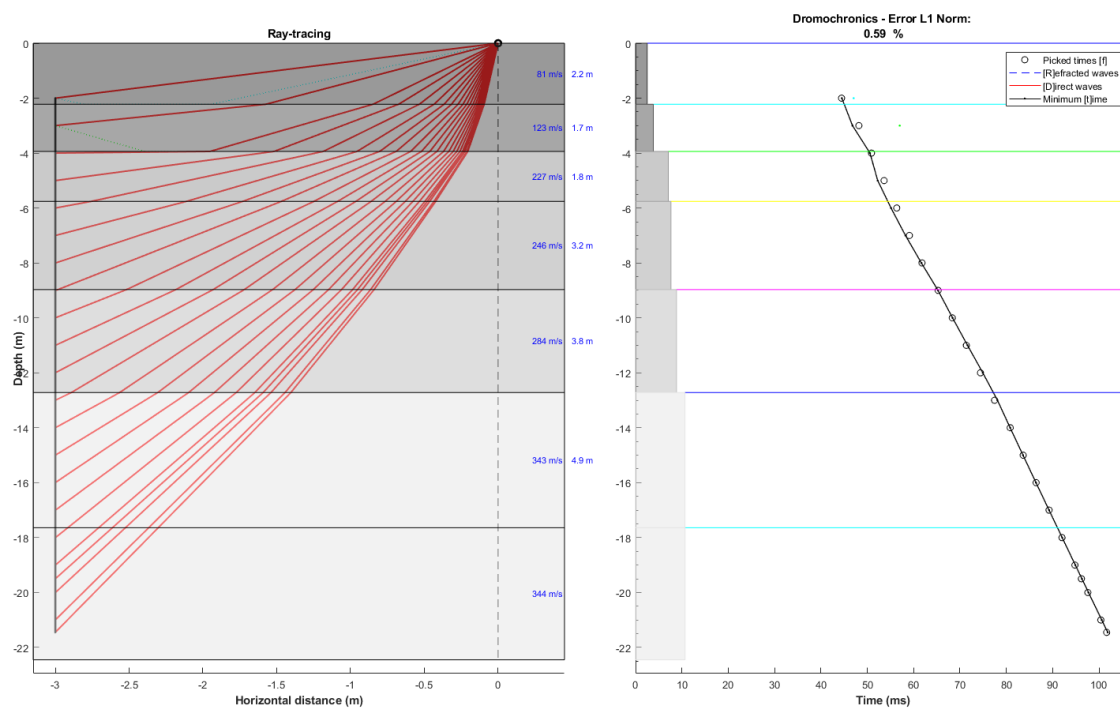
Laag N°	Diepte toplaag (m)	Dikte (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson's ratio
1	0	2.76	258	124	0.35
2	2.76	3.28	362	202	0.27
3	6.04	6.94	515	230	0.38
4	12.98	5.56	651	306	0.36
5	18.54	2	663	304	0.37

Tabel 3.3: Details van het beste profiel Vp en Vs gemeten in het boorgat B01/ B02.

3.4.2 Resultaten van B03

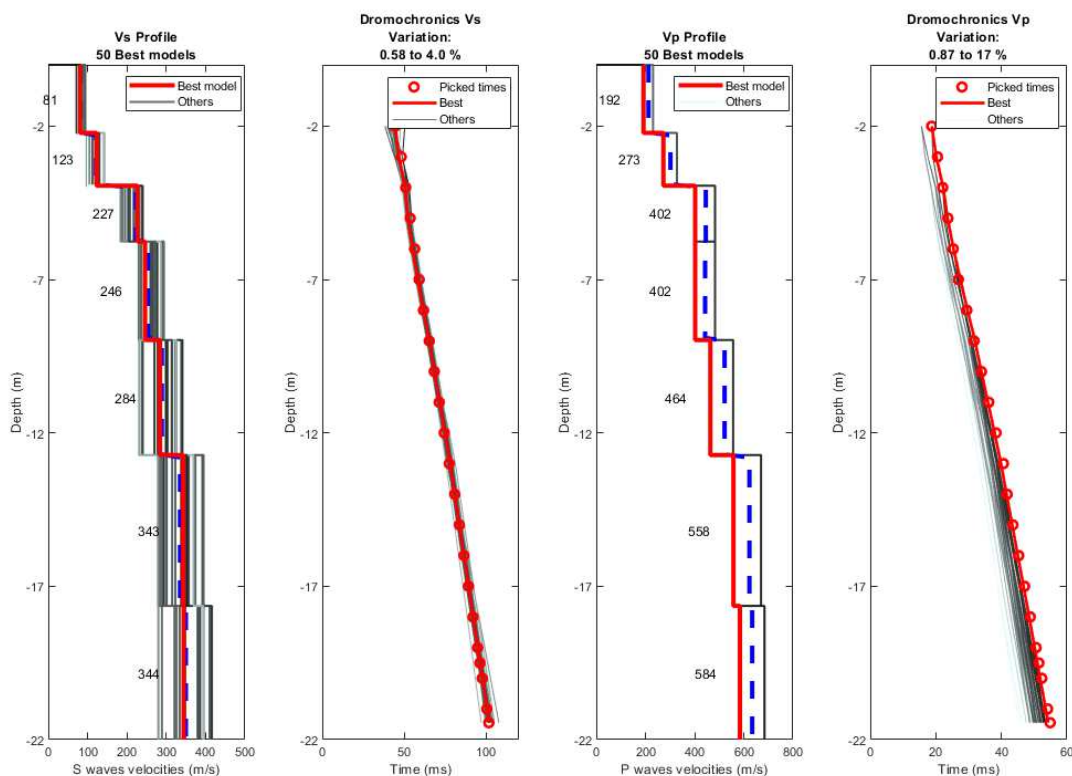


Figuur 3.10 : Links : Voortplanting paden. Rechts : Het bepalen van de P-golf voor B03. De aankomsttijden worden gesuperponeerd op de berekende tijd die wordt uitgegeven door de inversie.



Figuur 3.11 : Links : Voortplanting paden. Rechts : Het bepalen van de S-golf voor BH03. De aankomsttijden worden gesuperponeerd op de berekende tijd die wordt uitgegeven door de inversie.

De eindresultaten van de downhole seismische metingen van B03 zijn weergegeven op figuur 3.12 en Tabel 3.



Figuur 3.12 : Weergave van de 50 beste modellen verkregen met van links naar rechts de Vs profielen, de tijdcurves van de S golf, de Vp profielen en de tijdcurves van de P golf

Laag N°	Diepte toplaag (m)	Dikte (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Poisson's ratio
1	0	2.22	192	81	0.39
2	2.22	1.72	273	123	0.37
3	3.94	1.82	402	227	0.27
4	5.76	3.21	402	246	0.20
5	8.97	3.75	464	284	0.20
6	12.72	4.92	558	343	0.20
7	17.64	2	584	344	0.23

Tabel 3.4: Details van het beste profiel Vp en Vs gemeten in het boorgat B03.

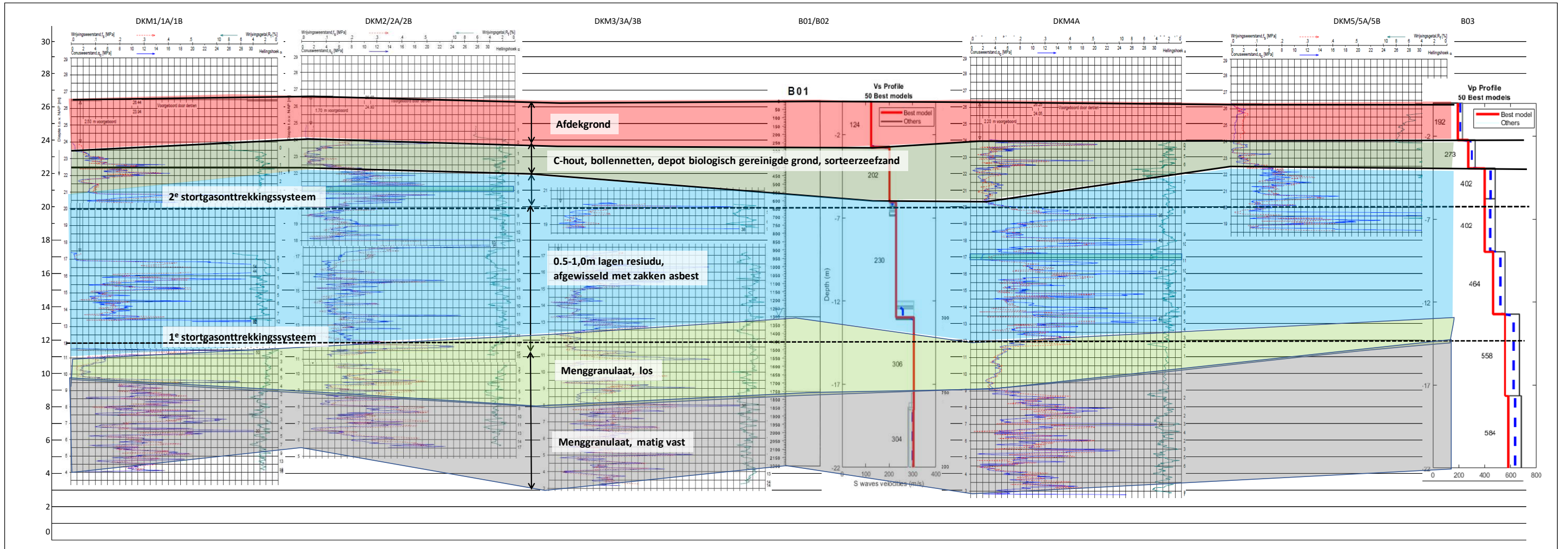
3.4.3 Algemene opmerkingen over de resultaten

De resultaten van de down hole seismische metingen laten lage Poisson-verhoudingen zien onder de toplaag, met name in boorgat B03. De heterogeniteit in de lagen op diepte als gevolg van de aanwezigheid van puin/afval kan verantwoordelijk zijn voor de verandering in het percentage hout en afval in de grond. In feite kan de aanwezigheid van afval de S-golfsnelheden verhogen en de P-golfsnelheden verminderen.

Bijlage 3

Laagopbouw stort

Geotechnisch profiel

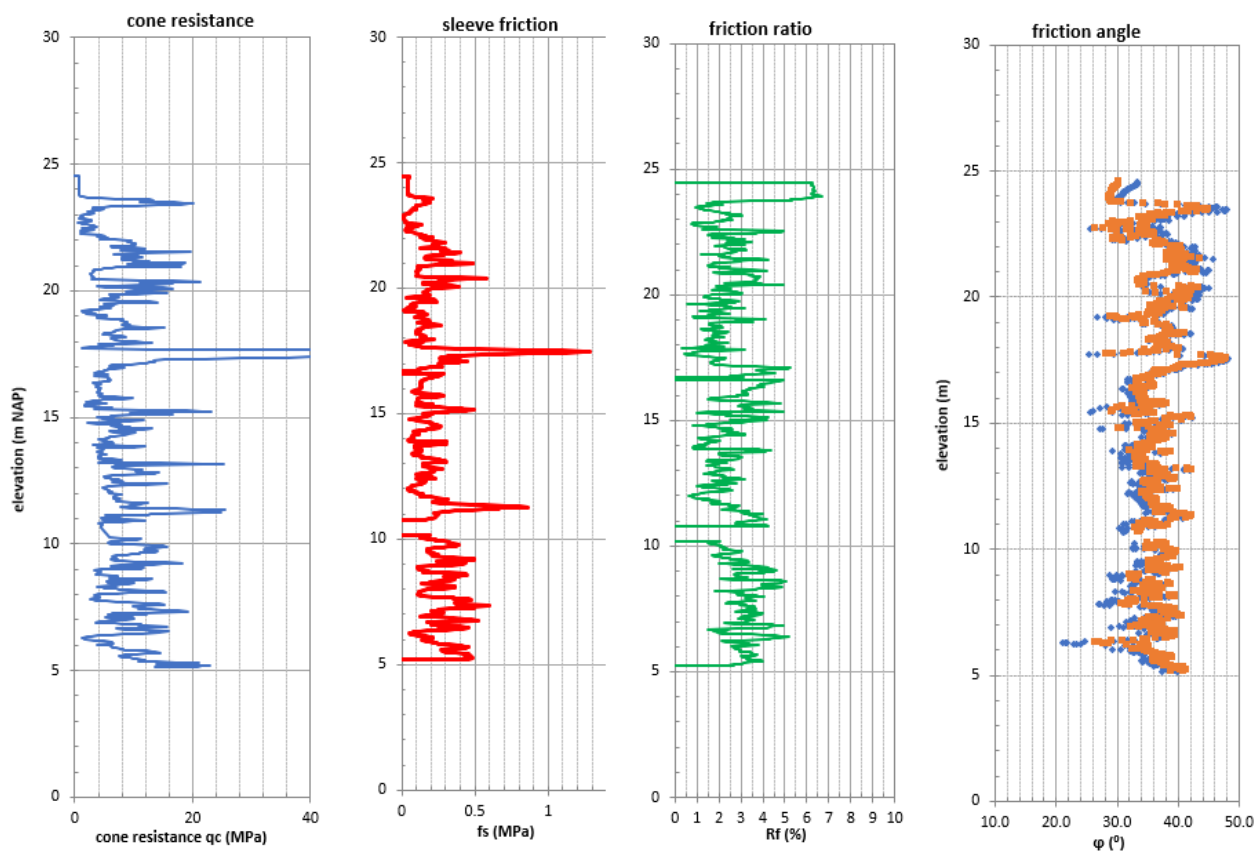


Bijlage 4

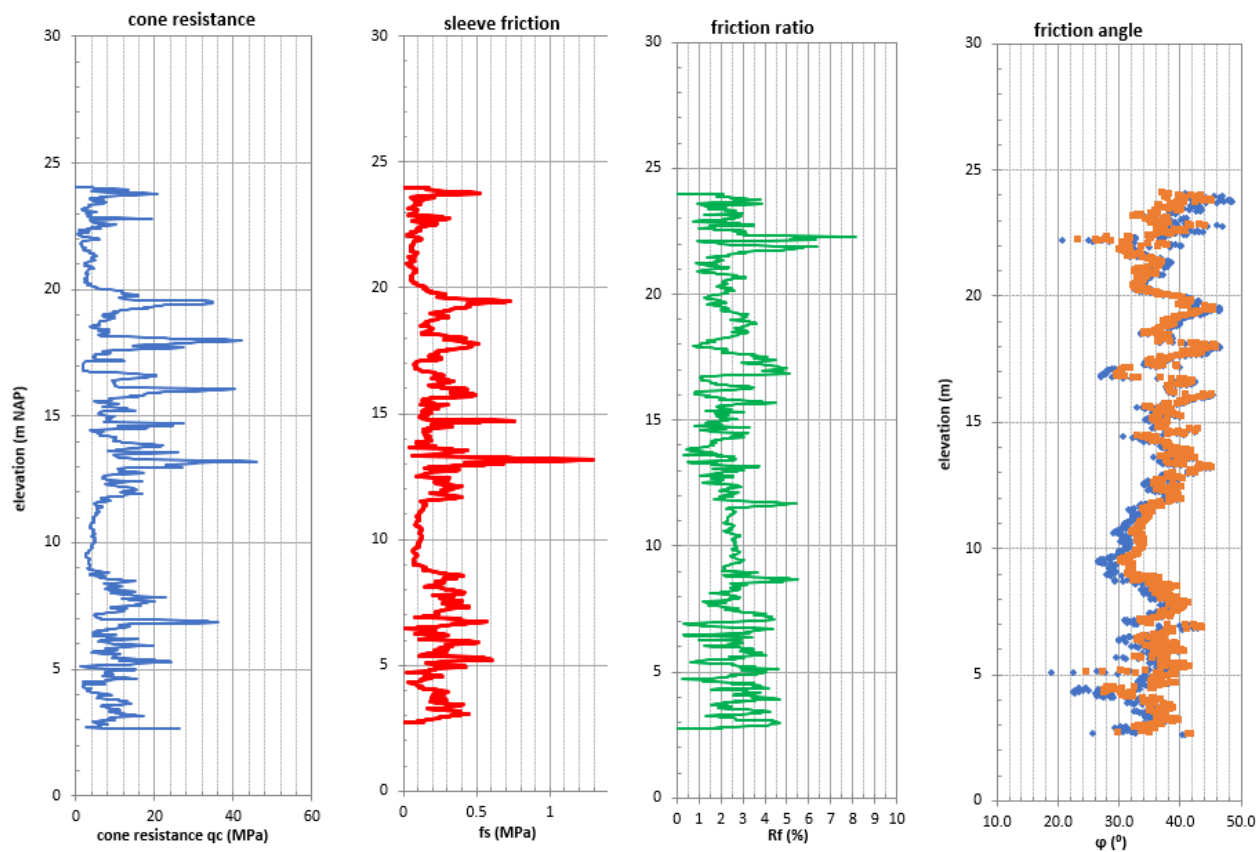
Afleiding schuifsterkte

Subtitel

Project No: BI1738
 Project: Windturbine Deponie Sortiva
 CPT No. DKM2/2A/2BA
 Datum reference m NAP



Project No: BI1738
Project: Windturbine Deponie Sortiva
CPT No. DKM4A
Datum reference m NAP



φ - sand – Robertson and Campanella (1983)

φ - sand – Kulhawy and Mayne (1990)

$$\tan \varphi = \frac{1}{2.68} \left[\log \left(\frac{q_c}{\sigma'_{v0}} \right) + 0.29 \right]$$

$$\varphi = 17.6 + 11 \cdot \log(Q_{tn})$$